



# **OUTILS D'AIDE À LA DÉCISION POUR LE RENOUVELLEMENT D'UNE FLOTTE DE VÉHICULES**

**Mémoire**

**Gloria Elizabeth Villamil Galvis**

**Maîtrise en génie mécanique**  
Maître ès sciences (M.Sc.)

Québec, Canada

©Gloria Elizabeth Villamil Galvis, 2014







## **Résumé**

Ce mémoire traite du problème de renouvellement d'une flotte de véhicules. Il présente le contexte, les motivations et les facteurs à considérer dans le processus de renouvellement. Des outils d'aide à la décision pour l'élaboration du plan de renouvellement, de la sélection de nouveaux véhicules et de la gestion de la maintenance de la flotte sont proposés. Le mémoire fait état également des coûts à prendre en considération et ce, sur tout cycle de vie de chaque véhicule.

Le contenu de ce mémoire peut être exploité aussi bien par les gestionnaires de flottes de véhicules que par des chercheurs qui s'intéressent à l'analyse de cycle de vie de véhicules dans une perspective de développement durable.









## **Abstract**

This thesis deals with the issues related to the vehicles fleet renewal. It presents de context, motivations and factors to consider in the renewal process. Decisions-making tools to support the development of the renewal plan, the selection of new vehicles and fleet maintenance management are proposed. The thesis also refers to the cost to consider throughout the life cycle of each vehicle.

The contents of this thesis should prove useful to both fleet managers and researches interested in costs analysis with regard to the life cycle of vehicles within a perspective of sustainable development.







# Table des matières

Résumé.....	iii
Abstract.....	v
Table des matières .....	vii
Liste des tableaux.....	xi
Liste des figures.....	xiii
Remerciements.....	xvii
Introduction.....	1
1. Le renouvellement d'une flotte : cadre général .....	5
1.1. Le renouvellement et la gestion de la flotte.....	6
1.2. Les facteurs à considérer lors des décisions de renouvellement.....	10
1.2.1. La taille et la composition de la flotte.....	10
1.2.2. La maintenance excessive.....	12
1.2.3. L'obsolescence .....	13
1.2.4. Les possibilités de location.....	15
1.2.5. La variation du besoin du public concernant le véhicule.....	16
1.2.6. La durée de vie de l'équipement.....	17
1.2.7. La détérioration physique .....	18
1.2.8. Les défaillances subites de l'équipement.....	18
1.3. Hypothèses de remplacement de l'équipement .....	18
1.3.1. Horizon de planification .....	19
1.3.2. Technologie .....	19
1.3.3. Prédiction des modèles de coûts sur la vie des actifs .....	19
1.3.4. La disponibilité du capital.....	20
1.3.5. D'autres hypothèses.....	20
2. Le processus de renouvellement.....	21
2.1. Les étapes du processus de renouvellement .....	22
2.1.1. Analyse de l'état actuel du parc.....	23
2.1.2. Détermination des besoins de renouvellement .....	26
2.1.3. Objectifs du renouvellement d'une flotte .....	26
2.1.4. Politique de renouvellement .....	27
2.2. Modèles de renouvellement.....	30
2.2.1. Critères de renouvellement.....	31
2.2.2. Quelques modèles développés.....	38
2.2.3. Commentaires et discussion des modèles.....	48
2.3. La méthode multicritère.....	53
2.3.1. Arguments qui favorisent l'utilisation d'une méthode multicritère.....	54
2.3.2. L'analyse multicritère.....	55
2.3.3. La méthode hiérarchique multicritère.....	61
3. La sélection de nouveaux véhicules.....	67
3.1. Facteurs pour la sélection de nouveaux véhicules.....	68
3.1.1. Facteurs financiers.....	69

3.1.2.	Facteurs techniques .....	70
3.1.3.	Facteurs environnementaux.....	70
3.1.4.	Exemples type d'ensemble de facteurs pour des flottes spécifiques.....	72
3.2.	Les étapes du processus de sélection de nouveaux véhicules.....	76
3.2.1.	Définition des besoins de nouveaux véhicules.....	77
3.2.2.	Définition des caractéristiques techniques recherchées .....	77
3.2.3.	Spécification des caractéristiques.....	78
3.2.4.	Appel d'offres et analyse de soumissions .....	78
3.2.5.	Évaluation des véhicules retenus.....	78
3.3.	Différentes stratégies de remplacement .....	80
3.3.1.	Types de motorisation alternatives.....	81
3.3.2.	Les carburants de remplacement .....	86
4.	Les aspects financiers du renouvellement .....	95
4.1.	Les coûts d'exploitation.....	96
4.1.1.	Les frais de carburant .....	96
4.1.2.	Les frais d'immatriculation .....	97
4.1.3.	Les frais de réparation .....	97
4.1.4.	Les frais d'amortissement .....	97
4.1.5.	Autres frais .....	98
4.2.	Le coût de remplacement .....	98
4.3.1.	Durée de vie .....	99
4.3.2.	Taux d'inflation.....	99
4.3.3.	Le coût d'achat .....	99
4.3.4.	Le prix de vente prévu.....	100
4.3.5.	Taux d'intérêt .....	101
4.3.6.	Facteur d'actualisation .....	101
4.3.7.	Le facteur d'amortissement.....	102
4.3.	La dépréciation .....	105
4.4.1.	La méthode de l'amortissement linéaire .....	105
4.4.2.	Amortissement Comptable dégressif .....	106
4.4.	L'analyse du coût sur le cycle de vie .....	107
4.5.	Analyse des coûts sous différents scénarios de renouvellement .....	111
4.6.	Alternatives pour financer le renouvellement .....	112
4.7.	Les projections financières.....	116
4.8.	Erreurs communes dans les prévisions.....	118
4.9.	Principales hypothèses faites dans les prévisions .....	119
5.	Systèmes de gestion .....	121
5.1.	Système de gestion de la maintenance .....	122
5.1.1.	Concepts de maintenance et de fiabilité.....	124
5.1.2.	Avantages d'un système de gestion de la maintenance.....	134
5.1.3.	Objectifs et activités de maintenance .....	135
5.1.4.	Outils de gestion et d'optimisation de la maintenance.....	136
5.1.5.	Stratégie de mise en œuvre d'un système de gestion de la maintenance ...	144
5.1.6.	Contrôle de la maintenance et mesure de la performance.....	146
5.1.7.	Applications .....	153
5.1.8.	Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) .....	157
5.2.	Les systèmes d'information dans les plans de gestion .....	160

5.2.1.	L'acquisition automatique de données .....	163
5.2.2.	Les systèmes de transport intelligents .....	165
5.3.	Gestion des véhicules usagés .....	171
5.3.1.	La problématique des véhicules en fin de vie.....	171
5.3.2.	Stratégies de mise hors service des véhicules usagés .....	174
	Conclusion .....	177
	Bibliographie .....	181









## Liste des tableaux

Tableau 1. 1 : Durée de vie (données historiques). .....	14
Tableau 2. 1: Bilan environnemental de la flotte Montauban : Émissions des véhicules légers pour l'année 2006. ....	25
Tableau 2. 2 : Frais fixes et frais variables. ....	35
Tableau 2. 3: Définition de facteurs et leurs pointages (Lauria, 2007). ....	47
Tableau 2. 4 : Grille pour évaluer le besoin de remplacement. ....	47
Tableau 2. 5 : Sommaire de modèles de remplacement d'équipement particulièrement utilisés. Modèles basés sur des critères économiques. ....	51
Tableau 2. 6 : Sommaire de modèles de remplacement d'équipement particulièrement utilisés. Modèles basés sur des critères économiques et technologiques. ....	51
Tableau 2. 7 : Sommaire de modèles de remplacement d'équipement particulièrement utilisés. Modèles axés sur de critères diversifiés. ....	52
Tableau 2. 8 : Échelle de base pour les comparaisons. ....	64
Tableau 2. 9 : Matrice de comparaison. ....	65
Tableau 3. 1 : Critères de priorisation pour le classement d'actifs. ....	73
Tableau 3. 2 : Comparaison de trois types de motorisation. ....	85
Tableau 3. 3 : Comparaison des différents carburants de remplacement. ....	92
Tableau 4. 1 : Exemple de données nécessaires pour calculer le coût de remplacement d'un véhicule. ....	102
Tableau 4. 2 : Capital récupéré pour l'exemple. ....	103
Tableau 4. 3 : Exemple de coûts de remplacement pour un véhicule donné. ....	104
Tableau 4. 4: Calcul de dépréciation avec la méthode d'amortissement linéaire. ....	106
Tableau 4. 5: Calcul de dépréciation avec la méthode d'amortissement dégressif. ....	107
Tableau 4. 6 : Différentes alternatives de financement. ....	115
Tableau 4. 7 : Exemple de besoins de fonds de renouvellement selon différentes alternatives de financement. ....	116
Tableau 5. 1 : Les concepts des activités de maintenance. ....	136
Tableau 5. 2 : Types d'indicateurs de performance. ....	148
Tableau 5. 3 : Indicateurs de performance pour un réseau de transport en commun. ....	151
Tableau 5. 4 : Indicateurs de performance pour la flotte de la ville d'Albany. ....	152
Tableau 5. 5 : Les tâches de la TPM. ....	154
Tableau 5. 6 : Domaines d'amélioration de la Lean Maintenance. ....	155
Tableau 5. 7 : Les différents modules d'un système de GMAO. ....	158
Tableau 5. 8 : Automobiles et camions légers en circulation au Québec. ....	172







## Liste des figures

Figure 1. 1 : Schéma intégrateur du renouvellement. ....	7
Figure 1. 2 : Structure simplifiée d'achat ou location sur la base du coût d'acquisition. ....	16
Figure 2. 1: Les étapes du processus de renouvellement. ....	23
Figure 2. 2 : LTCP, coûts sur la durée de vie. ....	36
Figure 2. 3: Feuille de calcul maître du modèle appelé «Va Room».....	42
Figure 2. 4 : Procédure générale utile pour l'analyse multicritère.....	56
Figure 2. 5: Procédure générale pour la construction de l'indicateur IIF. ....	57
Figure 2. 6 : Valeurs $Z_i$ min et la valeur $Z^*$ de la fonction objectif. ....	60
Figure 2. 7 : Exemple d'analyse hiérarchique pour le meilleur choix de véhicule à changer. .....	63
Figure 3. 1 : Répartition des émissions de GES par secteur d'activité au Québec en 2005. ....	72
Figure 3. 2 : Véhicule blindé léger (VBL).....	74
Figure 3. 3 : Étapes pour le choix approprié du nouveau véhicule.....	76
Figure 3. 4: Hiérarchie pour le choix d'un véhicule en considérant les facteurs de coûts et intangibles.....	80
Figure 3. 5 : Fenêtre d'opportunité (Hébert, 2008).....	93
Figure 4. 1: Phases du cycle de vie d'un véhicule. ....	108
Figure 4. 2: Exemple d'analyse du cycle de vie économique de camions légers. ....	110
Figure 4. 3 : Exemple de coûts de remplacement de flotte sous le scénario de flotte renouvelée.....	111
Figure 4. 4 : Exemple de coûts de remplace de la flotte sous le scénario du statu quo... ..	112
Figure 5. 1 : Configuration du système de management de la maintenance. ....	122
Figure 5. 2 : Types de maintenance. ....	126
Figure 5. 3: Diagramme de transitions.....	129
Figure 5. 4 : Relation entre les liens temporels en fiabilité, maintenabilité et disponibilité. .....	132
Figure 5. 5: Chaînage temporel des activités de détection et de remise en service. ....	133
Figure 5. 6: Outils d'optimisation de la maintenance. ....	137
Figure 5. 7 : Analyse de décision pour trouver le temps optimal de remplacement.....	139
Figure 5. 8 : Conflit entre renouvellement préventif et renouvellement après défaillance. ....	140
Figure 5. 9 : Fréquence d'inspection versus MTTF (Jardine, 2011). ....	142
Figure 5. 10 : Intervalle optimale d'inspection (Jardine, 2011).....	143
Figure 5. 11 : Étapes de la mise en place d'un système de gestion de la maintenance. ....	145
Figure 5. 12 : Composantes d'un système global d'information et de gestion.....	162
Figure 5. 13 : Architecture générale d'un système de gestion de flotte par GPS. ....	167
Figure 5. 14 : Classification des réseaux sans fil selon la portée.....	169





*À la mémoire de mon conjoint Victor Hugo  
Ordonez, à ma fille Laura Ordonez, à ma  
mère Teresa Galvis*







## Remerciements

Je désire avant tout exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de recherche et professeur à l'Université Laval, M. Daoud Aït-Kadi qui m'a toujours encouragée, et guidé tout au long de mon parcours académique. Je tiens à le remercier pour avoir fait confiance à mes capacités, pour m'avoir suggéré un sujet gratifiant et pour m'avoir fait bénéficier de son expérience dans le domaine de gestion de flotte. Je tiens aussi à remercier mon codirecteur, professeur de la faculté de sciences de l'administration de l'université Laval, M. Favez Boctor, pour sa disponibilité, sa solidarité et son support, ainsi que pour les remarques éclairées qu'il m'a prodiguées tout au long de cette recherche. Qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde estime.

Je présente aussi mes remerciements les plus sincères au professeur Claver Diallo, professeur Associé du Département de Génie Industriel de l'université de Dalhousie à Halifax, pour son travail, pour ses judicieuses recommandations et pour le temps qu'il a pris lors de l'évaluation de cette recherche.

Je remercie également la faculté des Sciences et Génie (FSG) et la faculté des Sciences de l'Administration (FSA) pour leur encadrement académique, leur infrastructure et leur soutien financier. Ce mémoire n'aurait pas été possible sans leur appui.

Je rends hommage à tous mes ami(e)s et collègues qui par leur présence chaleureuse et par leur soutien moral, ont su rendre ces longues dernières années agréables malgré les moments difficiles.

Finalement, je ne saurais passer sous silence le support de ma famille qui m'a toujours encouragé à poursuivre mes études. Je remercie ma mère sa façon unique de m'aimer. Je remercie également ma sœur aînée, qui a su me communiquer sa force d'esprit et sa persévérance. Je remercie en particulier ma jolie fille pour ses encouragements soutenus et pour son temps consacré à la correction du français. Je réserve mon mot de la fin à une pensée toute particulière à mon défunt conjoint, amour de ma vie, confident et ami qui est parti de ce monde durant le temps où je devais faire les corrections de ce mémoire, alors que ce temps lui appartenait. Merci.



## **Introduction**

Le domaine du transport, de marchandises comme de personnes, constitue un marché en expansion et en croissance continue depuis plus de quarante ans. Le transport routier enregistre le plus haut taux de croissance dans un contexte concurrentiel intense. Les gestionnaires de flottes doivent établir la stratégie d'exploitation de la flotte et définir sa taille, sa composition, son utilisation, sa maintenance et la stratégie de son renouvellement, tout en tenant compte des contraintes d'exploitation. La façon dont la flotte est exploitée a un impact important sur son vieillissement, sa rentabilité, et sa conformité avec les normes en vigueur en matière de sécurité et de respect de l'environnement.

Les actifs de transport peuvent être grands ou petits, mobiles ou stationnaires, chacun présente ses propres défis. Peu importe le type de véhicules, ils ont tous besoin d'étendre leur durée de vie utile et d'avoir une maintenance efficace afin de réduire leur coût de fonctionnement. Au moment donné, ces effectifs doivent sortir du parc au lieu de continuer à être réparés.

La problématique du renouvellement demeure donc dans le fait que les gestionnaires se voient affrontés à déterminer le bon moment de remplacement de tout véhicule. Pour y parvenir, un plan de renouvellement qui répond aux réalités de la flotte est nécessaire.

Il y a plusieurs éléments qui entrent en jeu pour élaborer un bon plan de renouvellement. Ils font appel à la gestion de la flotte en soi-même, particulièrement en ce qui concerne l'analyse de différents facteurs qui influencent le renouvellement dans un cadre général, le processus de remplacement des vieux véhicules et de sélection des nouveaux, les aspects financiers et les systèmes de gestion.

Le cadre général du renouvellement réfère d'une part, à l'analyse du lien étroit entre le renouvellement et la gestion de la flotte. D'autre part, aux facteurs d'influence sur les décisions de remplacement et aux outils nécessaires à l'établissement d'un plan de renouvellement. Leur connaissance revêt un caractère important pour pouvoir fixer des

objectifs du renouvellement répondant efficacement aux besoins du parc (Albany City, 2011).

Après avoir fixé ces objectifs, un processus de remplacement des vieux véhicules tient lieu, pour lequel un modèle contribuant à la minimisation du coût de possession est nécessaire (Wafer, 1997). Un modèle de remplacement est une méthode pour établir la séquence des véhicules à remplacer en suivant un critère déterminé. Une revue de littérature nous permet de constater l'existence de plusieurs méthodes pour aborder ce problème. Le type de modèle de remplacement à utiliser dépend des critères établis d'avance dont les plus connus se basent sur la durée de vie des véhicules et les coûts de réparation (Kriett, 2009).

La plupart de ces modèles considèrent des critères économiques ou financiers (Dietz et Katz, 2001). Ces modèles sont efficaces pour les entreprises qui visent un critère en particulier. Ils sont très précis et donnent aux gestionnaires de pistes spécifiques sur des problèmes ponctuels liés au renouvellement. Bien qu'ils conduisent à des résultats très pertinents en termes de contributions à la diminution des coûts ou à l'augmentation de profits, ils ne permettent pas de tenir compte d'autres variables en jeu, comme les environnementales et les technologiques. Donc, un modèle plus holistique qui tiendrait mieux compte des différentes réalités de l'entreprise serait intéressant (Sarache, Castrillon, Gonzales et Viveros, 2009).

La plupart de ces décisions font partie d'une politique de renouvellement référant à la fréquence à laquelle les véhicules sont retirés du parc. Cette politique permet de gérer deux événements principaux requérant l'établissement de bons critères de sélection. Ces événements sont la mise au rancart des vieux véhicules et la stratégie d'acquisition de nouveaux véhicules (achat ou location).

Une fois déterminé quels sont les véhicules à remplacer et par quel type de véhicule, il convient de prévoir les ressources financières pour l'acquisition des nouveaux véhicules. Cette prévision nécessite le calcul du coût associé au modèle de remplacement proposé, de tenir compte des contraintes budgétaires et d'évaluer les alternatives de financement.



À mesure que la flotte passe des structures traditionnelles aux modernes, les gestionnaires doivent répondre aux changements technologiques rapides. En même temps, et comme conséquence du vieillissement, les coûts d'entretien augmentent, les infrastructures dans leur ensemble se détériorent, la fiabilité et la capacité à répondre aux demandes des clients sont affectées et nécessitent un investissement considérable. Pour faire face à ces défis et garantir l'efficacité du parc, un regard sur les systèmes de gestion est fort utile.

Ce mémoire s'inscrit dans cette direction de recherche et puise sa motivation particulièrement dans la volonté de répondre aux problématiques auxquelles sont confrontés les gestionnaires dans la planification et la mise en pratique du renouvellement d'un parc de véhicules.

L'objectif général est donc de proposer un outil de planification et d'aide à la décision concernant le renouvellement d'une flotte de véhicules, afin d'aider les gestionnaires dans l'amélioration de la productivité tout en faisant une meilleure utilisation des infrastructures existantes. Cet objectif se traduit par la minimisation des coûts économiques et des impacts environnementaux liés à l'exploitation d'un réseau, tout en tirant profit des dernières technologies.

La méthodologie pour atteindre cet objectif consiste en trois étapes. La première étape vise à présenter la problématique du renouvellement, l'analyser et à présenter les composantes d'une politique de renouvellement avec des pistes pour sa mise en pratique. La deuxième étape, propose un cadre de référence sur les notions qui entrent en jeu lors de la prise de décisions concernant le renouvellement. La plus importante de ces notions étant le modèle de remplacement, nous ferons un recueil des différents modèles proposés pour aboutir à une méthodologie se démarquant du point de vue des coûts et de facilité d'application. Afin que toutes les variables de fonctionnement de la flotte puissent être représentées aussi précisément que possible, un modèle d'analyse multicritère est utilisé pour trouver les véhicules à changer selon l'ordre de priorité.

La dernière étape comporte deux outils d'appui au processus de remplacement concernant les aspects financiers et le système de gestion pour permettre aux gestionnaires de surveiller le rendement réel de la flotte quant à l'exploitation et aux coûts.

La présentation du mémoire se compose de six chapitres.

Le chapitre 1 consiste à présenter le cadre général du renouvellement d'une flotte de véhicules. D'abord, nous présentons le rapport entre le renouvellement et la gestion avec la rentabilité. Ce point nous mène à voir de façon précise les facteurs qui influencent le renouvellement et à comprendre les possibles hypothèses lors de l'établissement d'un plan de remplacement.

Le chapitre 2 présente une vue d'ensemble des différentes étapes du processus de renouvellement sur différents modèles proposés dans la littérature. La méthode multicritère occupe une place spéciale étant donné sa facilité d'application et sa vision plus holistique des conditions d'opération des véhicules.

Le chapitre 3 aborde le processus de sélection de nouveaux véhicules du point de vue des facteurs à considérer pour l'acquisition (l'achat ou la location) et des stratégies ou alternatives de renouvellement.

Le chapitre 4 porte sur les aspects financiers du renouvellement. Les notions traitées touchent les coûts d'exploitation, le coût du remplacement, la dépréciation, l'analyse du coût du cycle de vie, l'analyse des coûts sous différents scénarios de remplacement, l'évaluation des alternatives de financement, les projections financières et les principales hypothèses faites dans les prévisions.

Le chapitre 5, quant à lui, s'intéresse à contribuer à l'efficacité de l'opération de la flotte grâce à un système de gestion approprié. Ce sont des notions qui concernent notamment la gestion de la maintenance, les systèmes d'information et la gestion de véhicules en fin de vie.

Finalement, une conclusion permet de souligner les principales contributions de ce mémoire et de proposer quelques avenues de recherche qu'il serait intéressant d'explorer.

# 1. Le renouvellement d'une flotte : cadre général

Dans le transport routier, il y a différents sortes de flottes de véhicules selon l'activité de l'entreprise. Une classification rapide considère les flottes de transport de marchandises, les flottes de transport en commun (pour le transport de passagers) et les flottes de services comme les taxis, le dépannage et les exploitants divers dont le personnel doit se rendre sur place avec un véhicule équipé convenablement pour le service demandé.

Les actifs de transport peuvent être grands ou petits, mobiles ou stationnaires, chacun présente ses propres défis. Peu importe le type de véhicule, tous ont besoin d'étendre leur durée de vie utile, d'avoir une maintenance efficace et en conséquence, de réduire leur coût de fonctionnement. À un certain moment, ces effectifs seront voués à être sortis du parc plutôt que continuer à être réparés. Il surgit alors le concept de renouvellement qu'il convient de planifier.

Lors de l'élaboration d'un plan de renouvellement adéquat, les entreprises de transport sont confrontées à plusieurs questions, parmi lesquelles nous pouvons nommer les suivantes :

- Quand est-il approprié de remplacer les équipements existants au lieu de continuer à les entretenir ?
- Que faire si le potentiel de service d'origine de l'actif est insuffisant ?
- Quelles sont les forces motrices qui poussent le remplacement de l'équipement ?
- Comment gérer ces forces motrices ?
- Quels critères devraient être considérés lors du remplacement de l'équipement ?
- Combien coûte le renouvellement de la flotte ?

Ces problèmes, et d'autres, font partie de la gestion de la flotte elle-même et devraient être traités de façon appropriée lorsque l'on considère la question de renouvellement.

Ce chapitre est divisé en trois sections. Dans un premier moment, il s'agit de voir les rapports entre le renouvellement et la gestion de la flotte avec la rentabilité à travers une utilisation rationnelle des infrastructures existantes. Ce point mène à voir de façon précise

les facteurs qui ont des répercussions sur le renouvellement. La dernière section est consacrée aux hypothèses permettant de faire l'analyse de la flotte durant la planification du renouvellement.

## **1.1. Le renouvellement et la gestion de la flotte**

Lorsqu'on étudie l'aspect intégré de la planification et de la gestion d'une flotte de véhicules, on constate qu'il y a peu de travaux publiés qui traitent sur l'intégration des différents aspects reliés à une gestion efficace. Une approche intégrée pour l'exploitation et la gestion d'une flotte de véhicules a été proposée par (Wafer, 1997). Selon cette approche, différents domaines de la gestion de flotte sont étudiés. On y traite entre autres de la taille et la capacité d'une flotte, de la sélection et de l'évaluation de véhicules, de la comparaison des véhicules sur de bases qualitatives et quantitatives, des stratégies de remplacement et de la gestion de la maintenance.

De façon globale, l'objectif est de relier efficacement plusieurs clients et fournisseurs de manière à satisfaire leurs besoins dans le délai le plus court, aux coûts les plus bas tout en tenant compte les contraintes d'exploitation dont la préservation des infrastructures et le respect de l'environnement. Le lien entre tous les éléments de la gestion de la flotte qui entrent en jeu lors du renouvellement est expliqué à l'aide de la Figure 1.1.

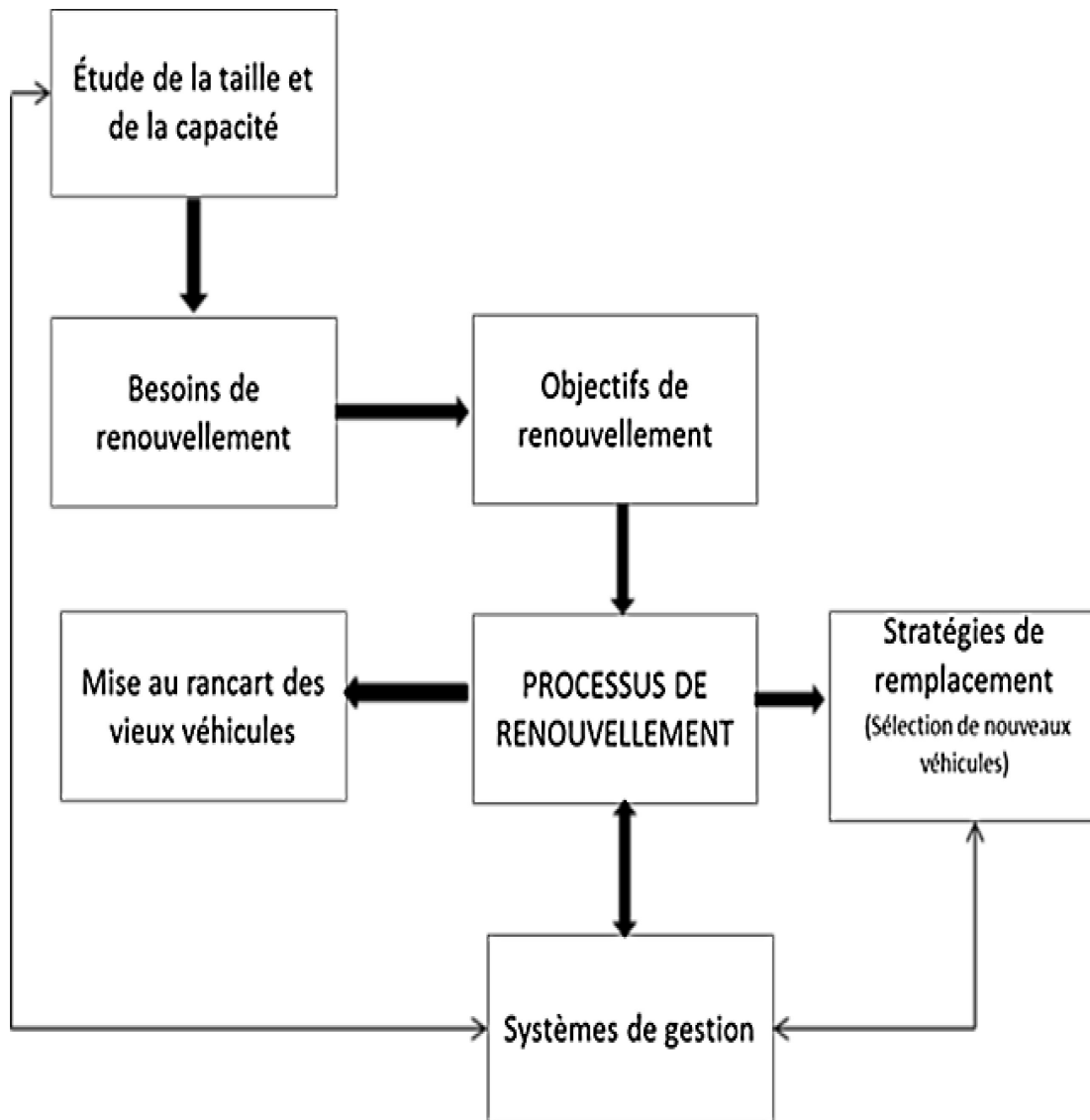


Figure 1. 1 : Schéma intégrateur du renouvellement.

Le problème du renouvellement demeure dans le fait que l'utilisation de véhicules âgés génère des coûts d'opération élevés mais aussi des coûts directs et indirects associés aux défaillances et à l'immobilisation de véhicules (Wafer, 1997).

Il arrive donc un moment où les véhicules ont besoin d'être renouvelés au lieu de continuer à être réparés. Le gestionnaire doit être en mesure de déterminer ce moment avant que les coûts d'exploitation ne dépassent les limites permis.

Il survient après un certain temps d'opération d'une flotte de véhicules. En effet, quand la flotte est en opération, des réparations peuvent survenir suite à défaillances du système. Lorsque ces défaillances sont catastrophiques, le véhicule doit être remplacé, ce qui entraîne un coût de remplacement après défaillance. Or, il est possible d'effectuer le remplacement de l'équipement avant qu'une défaillance catastrophique survienne.

C'est pour cette raison que les gestionnaires se voient confrontés à choisir entre prolonger la vie des véhicules grâce à des réparations majeures ou effectuer le remplacement avec un nouvel équipement. Ce mémoire vise le dernier choix, soit le renouvellement des véhicules lorsque l'organisation envisage de ne plus faire de réparations. Cette décision implique qu'il est nécessaire de connaître le temps optimal de remplacement pour les composants critiques du système (Jardine, 2011), c'est-à-dire trouver le moment opportun pour remplacer les vieux véhicules. La notion de remplacement opportun est expliquée plus en détail à la section 5.1.4.1.

Le processus de remplacement peut être subdivisé en deux volets, le premier étant la mise au rancart des vieux véhicules et le deuxième, l'achat ou la location de véhicules neufs, qui passe à travers un processus de sélection de nouveaux véhicules.

Le choix des véhicules à mettre hors d'usage se retrouve dans un calendrier qui montre, selon un ordre de priorité accordé, les dates de remplacement de tous les véhicules. Cet ordre de priorité est défini en utilisant un modèle de remplacement choisi dans le cadre d'une politique de renouvellement. Une revue de littérature à ce sujet nous permet de constater que cette problématique fait l'objet de nombreuses modélisations et méthodes de résolution ainsi que de l'utilisation de nombreux logiciels. Il s'agit de modèles analytiques, mathématiques, stochastiques, issus de la recherche opérationnelle. Le type de modèle de remplacement dépend principalement des critères établis au préalable. Les plus répandus dans la littérature se basent sur la durée de vie des véhicules et les coûts de réparation. Selon l'étude réalisée par (Kriett, 2009), le choix des critères utilisés dans les décisions de remplacement provient de l'expérience plutôt que de modèles scientifiques.

Idéalement, ces modèles doivent être encadrés dans une politique de remplacement, qui reflète les priorités et les besoins de l'entreprise en matière de renouvellement, qui

s'exprime, notamment, par les fréquences de remplacement. Certaines entreprises ont des politiques assez réguliers tandis que d'autres peuvent le faire pour un délai plus long. Le but c'est d'avoir une politique optimale qui réponde aux besoins de l'entreprise et respecte toutes les contraintes d'exploitation. Une politique optimale permet de minimiser les coûts d'exploitation des véhicules car elle améliore le pourcentage d'utilisation de la flotte et en conséquence elle augmente son efficacité (Wafer, 1997).

L'ensemble de ces notions liées au processus de remplacement des vieux véhicules fait l'objet du chapitre 2.

Du même fait, les stratégies d'acquisition des nouveaux véhicules, choisis pour remplacer ceux que le modèle a déterminé, visent à minimiser les coûts d'exploitation de la flotte et doivent satisfaire les exigences du gouvernement en matière de développement durable par l'utilisation de véhicules moins polluants et moins gourmands. La sélection de la meilleure stratégie de remplacement nous ramène au processus de sélection de véhicules proposé par (Wafer, 1997). Le chapitre 3 étudie plus en détail ce processus.

Une fois déterminé quels sont les véhicules à remplacer et par quel type de véhicule, les entreprises ont besoin de prévoir les ressources financières nécessaires à l'acquisition des nouveaux véhicules qui vont remplacer ceux que le plan a déterminés. L'ensemble de notions financières fait l'objectif du chapitre 4.

La gestion de la flotte influence le renouvellement de sorte que plusieurs facteurs peuvent l'accélérer ou le retarder. De même, les décisions concernant le renouvellement ont un impact sur divers aspects de la gestion de la flotte. Pour cette raison, il est important d'approfondir le problème du renouvellement, particulièrement en ce qui a trait aux facteurs qui influencent le taux de remplacement d'une flotte. Cela constitue le sujet de la section suivante.

## **1.2. Les facteurs à considérer lors des décisions de renouvellement**

Tout au long de l'exploitation de la flotte, les décideurs se posent plusieurs questions concernant le renouvellement. Des questions pour savoir si le véhicule est pleinement utilisé et si ce n'est pas le cas, pourquoi le remplacer. S'il a besoin d'être remplacé, il est nécessaire de savoir si la spécification actuelle du véhicule est appropriée ou si un autre véhicule serait mieux adapté aux particularités de la demande. Enfin, identifier s'il y a des utilisations secondaires possibles pour le véhicule. En se posant ces questions en avant du processus de remplacement, les entreprises peuvent éviter d'avoir trop d'unités ou des unités inappropriées dans leurs flottes.

Le taux de remplacement d'une flotte peut varier en raison de plusieurs facteurs dont l'insuffisance en termes de taille et de composition, la maintenance excessive, l'obsolescence, la détérioration physique, les possibilités de location, la variation des besoins du public concernant le véhicule, la vie d'un équipement soumis à l'usure et les défaillances subites (Tecleab, 2002). Ces différents facteurs sont détaillés dans les prochaines sections.

### **1.2.1. La taille et la composition de la flotte**

Les concepts liés à la taille et à la composition de la flotte ont été largement étudiés dans la littérature. Le problème de la détermination de la taille de la flotte doit être considéré dans un contexte de demande variable. À ce propos, on explorera les travaux de (Wafer, 1997) dont le mémoire a été réalisé sous la direction du professeur Daoud Aït-Kadi.

Les concepts de taille et de composition de la flotte sont étroitement liés à la demande. La détermination de ces notions revêt une grande importance due à l'impact direct sur les coûts d'exploitation. La connaissance des facteurs qui influencent la demande et sa projection dans le temps constitue un atout pour les décideurs dans le processus du choix du type de véhicule. Ainsi, une flotte trop grosse engendre une augmentation des frais, voir coûts d'immobilisation des actifs. De la même façon, une flotte trop petite occasionne des



dépenses de location, nécessaires pour maintenir le niveau de service requis. Il importe donc de déterminer de façon adéquate la taille et la composition de la flotte (Wafer, 1997).

Deux cas spécifiques sont exposés : Le premier d'entre eux traite des modèles spécifiques proposés pour des flottes de machinerie lourde dont le but est d'estimer le nombre minimal de véhicules requis en tenant compte des coûts de possession et des aléas de la demande. Dans le deuxième cas, le transport en commun est considéré. Pour ce secteur, la demande se caractérise par des fluctuations en fonction du temps avec un maximum atteint aux périodes de pointe. La fréquence de passage est souvent réduite en dehors de ces périodes pour contrôler les coûts de fonctionnement. Ainsi, la taille de la flotte est calculée de façon à subvenir à la demande.

Quant au problème de la composition de la flotte, plusieurs modèles sont proposés dans la littérature. Mentionnons d'abord les travaux de (Couillard, 1993) qui propose un système d'aide à la décision. Ce système est utile pour prédire la demande, déterminer des critères pertinents, développer et évaluer des plans alternatifs de la flotte ainsi que sélectionner la combinaison la plus rentable de la flotte. L'auteur propose également que la flexibilité soit intégrée dans le système. Cela permet à l'analyste une exploration plus facile des différentes alternatives.

Un autre modèle qui mérite l'attention a été proposé par Etezadi et Beasley (1983). Il s'agit de la composition optimale d'une flotte de véhicules. Selon ces auteurs, les problèmes traitant de la composition des flottes de véhicules peuvent être classés en deux catégories: ceux où le type de véhicules nécessaires est connu et la décision à prendre concerne le nombre de chaque type (les problèmes de taille du parc de véhicules) et ceux qui traitent des problèmes là où les décisions à prendre concernent à la fois le type de véhicules et le nombre de chaque type (les problèmes de composition du parc de véhicules). Etezadi et Beasley (1983) se concentrent sur ce dernier cas. Ils proposent une formulation de programmation mixte en nombres entiers pour traiter ce problème.

Dans l'étendue de la recherche que les auteurs ont menée, ils ne se sont pas concentrés sur les décisions à court terme, tels que le véhicule spécifique que l'on doit utiliser pour servir

certains clients, mais sur les décisions à long terme. (Nombre de véhicules pour répondre à la demande).

Afin de développer un tel modèle, ils distinguent deux situations :

(1) Les problèmes de déplacements de véhicules à partir du dépôt vers un client ainsi que le retour au garage (aller-retour).

(2) Les problèmes où un véhicule peut visiter deux ou plusieurs clients (généralement plusieurs) avant le retour au dépôt.

À partir de l'étude de la taille et de la composition de la flotte les gestionnaires peuvent déterminer les besoins de renouvellement. La détermination de ces besoins constitue le point de départ pour élaborer un plan d'action, elle est étudiée plus en détail dans la section 2.1.2.

### **1.2.2. La maintenance excessive**

Certaines réparations sont limitées alors que d'autres sont périodiques et approfondies. Lorsque l'ensemble des coûts de maintenance devient excessif, le besoin de remplacement s'impose.

Ce problème est illustré par (Morse et Bean, 1998) pour qui les compagnies réduisent les coûts annuels d'exploitation en reportant les achats et en augmentant la durée du cycle de vie des véhicules. La réduction de capital pour le renouvellement accroît généralement le coût de maintenance de la flotte puisque les véhicules restent en service pendant de longues périodes.

Cela oblige à mettre davantage l'accent sur la planification du renouvellement afin de minimiser les coûts et gérer le conflit entre le budget de remplacement et le coût de maintenance (Morse et Bean, 1998).

### **1.2.3. L'obsolescence**

L'obsolescence fait référence au problème de décider s'il convient de conserver un équipement ou de le remplacer par une technologie plus avancée. Cette décision doit prendre en compte à la fois la nature de la technologie de remplacement disponible et la possibilité de futurs progrès technologiques.

Au cours des dernières années, la difficulté de ce problème a été aggravée par le fait que les technologies évoluent plus rapidement que jamais auparavant. Ce qui peut sembler aujourd'hui être une bonne décision peut devenir rapidement obsolète. Dans ces circonstances, la force motrice derrière les décisions de remplacement est susceptible d'être l'obsolescence, plutôt que de la détérioration physique de l'équipement existant (Nair et Hopp, 1992).

L'obsolescence joue un rôle majeur dans la décision d'un gestionnaire de se séparer d'un véhicule. Selon (Tecleab, 2002), l'obsolescence peut être due à plusieurs raisons telles que l'inadéquation de la flotte au marché ou de sa surcapacité, les coûts d'exploitation accrus et la perte de qualité du service rendu au client. Un nouveau design ou l'amélioration des équipements existants peuvent rendre les équipements obsolètes économiquement. D'un côté, une diminution de la demande pourrait rendre obsolète l'équipement actuel ayant une capacité supérieure ; de la même façon, un équipement ayant une capacité inférieure peut devenir obsolète à cause d'une augmentation de la demande. Cela arrive à cause de nouveaux équipements disponibles fonctionnellement pour accueillir le niveau de la nouvelle demande.

D'un autre côté, la disponibilité des machines améliorées effectuant le même service avec des moyens plus économiques justifiera le remplacement des vieux véhicules par de nouveaux ou encore les conserver pour d'autres utilisations inférieures à l'actuelle. Cela se traduit par un meilleur avantage économique. Finalement, des véhicules qui ne sont plus en cours de fabrication peuvent être obsolètes.

Le progrès technologique peut être en cause dans l'amélioration des équipements. Ainsi, l'équipement peut être adéquat pour une utilisation prévue selon les normes de design. Mais

en raison du progrès technologique, l'équipement peut être mieux conçu pour effectuer le travail à moindre coût et avec une meilleure sécurité ou encore, le fabricant pourrait avoir changé l'équipement de sorte que l'approvisionnement des pièces de rechange puisse être difficile.

L'obsolescence technique des vieux appareils est devenue de plus en plus rapide et porte ses effets principalement sur les capacités de manutention, sur des dimensions extérieures données qui ont connu des progrès dans les dernières années et sur la consommation de carburant, qui a été réduite de 20% environ depuis 20 ans.

De la même façon, les véhicules légers durent plus longtemps qu'avant et leur qualité est généralement supérieure à la qualité des véhicules légers construits il y a trente ans. La durée de vie moyenne d'un nouveau véhicule acheté en 2006 est autour de 300 000 km, soit environ le double de celle des voitures datant des années 1970 comme le démontre le Tableau 1.1.

DÉCENNIE	KILOMÉTRAGE (KM)
1970	153 000
1980	178 000
1990	219 000
2000	234 000
2010	300 000

Tableau 1. 1 : Durée de vie (données historiques). <sup>1</sup>

Outre l'obsolescence technologique ou économique, il existe aussi l'obsolescence du véhicule par rapport à son image dans le marché, aux exigences contractuelles et aux réglementations. Le majeur obstacle au développement d'une politique de remplacement en raison de l'obsolescence, consiste à prévoir l'effet économique du progrès technologique futur dans ce domaine.

---

<sup>1</sup> SAAQ (Société de l'assurance automobile du Québec), 2007

L'amélioration de la technologie à long terme peut être graduelle, mais les fréquents avancements dramatiques ont un effet révolutionnaire (Tectleab, 2002).

#### **1.2.4. Les possibilités de location**

La variété de solutions de rechange disponibles est en lien avec le type de véhicules et le profit de la demande. Parmi telles décisions on peut mentionner possibilités de louer de l'équipement spécialisé pour une utilisation saisonnière, faire la rotation de l'affectation des véhicules, etc.

La location résulte très utile lorsque l'équipement est peu utilisé à cause des conditions particulières de la demande en ce qui concerne les besoins à combler et la période de possession. Donc, les possibilités d'acheter ou de louer un véhicule doivent être analysées pour des cas particuliers.

La Figure 1.2 (Wafer, 1997) illustre la procédure pour déterminer l'option la plus rentable. Il en résulte qu'il est conseillé d'acheter un véhicule  $j$  pour une période donnée  $n$  lorsque les coûts d'acquisition,  $Cac_{j,n}$  sont inférieurs aux coûts de location,  $Loc_{j,n}$  (Wafer, 1997).

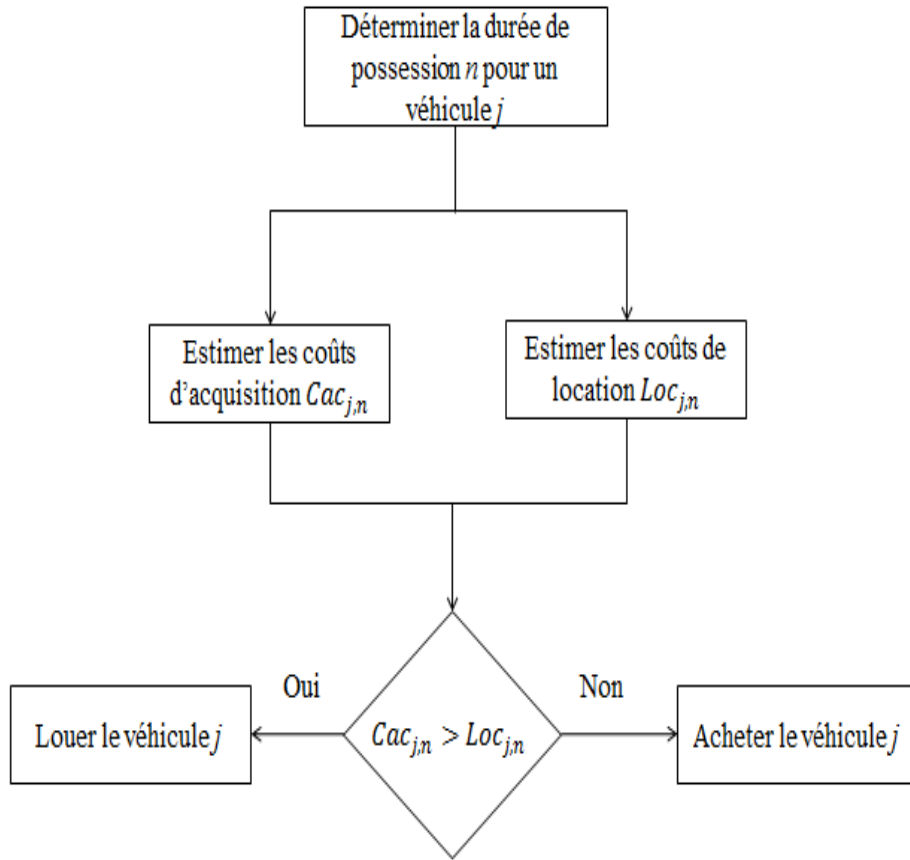


Figure 1. 2 : Structure simplifiée d'achat ou location sur la base du coût d'acquisition.

### 1.2.5. La variation du besoin du public concernant le véhicule

Le besoin de remplacement peut arriver à cause de l'évolution défavorable ou même de la perte de marché de l'équipement. Il peut donc perdre de sa valeur en raison de nouveaux véhicules venus dans le marché et que les clients préfèrent. Pour ne nommer qu'un exemple, dans le cas de l'automobile, des changements se produisent quant à la longueur de la carrosserie des véhicules.

De plus en plus, le public préfère des voitures plus petites, moins polluantes et moins gourmandes. Dans ce même sens, un concessionnaire peut s'apercevoir rapidement qu'une voiture de cinq mètres n'est pas appropriée pour un célibataire et qu'un coupé sportif peut être facilement rejeté par des grandes familles.

### **1.2.6. La durée de vie de l'équipement**

Les vieux véhicules sont souvent peu modernes, inadaptés à l'activité à bord, inconfortables ou même, avec des lacunes de sécurité pour les usagers. En même temps, ces appareils sont souvent fortement consommateurs en énergie, malgré les efforts importants réalisés par les professionnels depuis des années, le secteur restant encore dépendant des énergies fossiles. Enfin, les coûts de maintenance sur des vieux véhicules deviennent vite très importants et nuisent la rentabilité des entreprises.

Le nombre de véhicules légers plus âgés, dont la durée de vie est plus élevée, augmente l'âge moyen du parc automobile et rallonge la durée du cycle de remplacement des véhicules (D. Automotive Consultants inc., 2006). Plusieurs pièces d'origine durent plus longtemps que celles produites il y a quarante ans. La durée de vie des voitures et des autocars est moins longue que celle des trains et des avions, mais les voitures récentes peuvent bien, en moyenne, atteindre 15 à 20 ans d'âge avant d'être remplacées. Les véhicules électriques, dont les moteurs et systèmes de transmission sont plus durables, pourraient à l'avenir atteindre un âge encore plus avancé (Kageson, 2009).

La vie d'un équipement soumis à l'usure peut être déterminée par le temps de la vie économique ou bien par la vie technique (Tecleab, 2002).

Le premier fait référence au moment où l'équipement cesse de fonctionner au point où les coûts de réparation et d'exploitation excèdent le coût de remplacement tandis que le deuxième est l'arrêt de l'équipement lorsqu'il est physiquement impossible de le réparer. La plupart des appareils peuvent continuer à fonctionner pendant une période assez longue, si la durée de vie technique est considérée comme le critère de remplacement.

Le problème de la durée de vie des véhicules est indissociable du problème d'opération des véhicules inférieurs aux normes et, tout particulièrement, sur la période finale de leur exploitation. Afin de faciliter la planification, on peut supposer un âge de remplacement commun pour un ensemble de véhicules identiques. Pourtant, cette pratique ne permet pas de minimiser les coûts d'exploitation de chacun des véhicules (Wafer, 1997).

### **1.2.7. La détérioration physique**

L'équipement peut être mis hors service ou effectuer moins que prévu en raison de dommages ou de mauvaises manipulations. Il peut être plus économique de remplacer au complet un véhicule spécialement s'il s'est dégradé avec une utilisation constante. Pour déterminer si le comportement de la dégradation est constant ou non, une analyse de fiabilité est nécessaire. Pour savoir si le remplacement est faisable ou non, l'analyse économique est très important.

### **1.2.8. Les défaillances subites de l'équipement**

Dans la pratique il y a des situations où les équipements ne se détériorent pas avec le temps mais tombent en panne soudainement. Ces appareils sont opérés à peu près à pleine capacité jusqu'à la rupture subite. Par conséquent, il est important de connaître à l'avance le moment où la défaillance est susceptible de se produire afin que l'équipement puisse être remplacé avant la panne (Tecleab, 2002).

Assez souvent, il n'est pas possible de prédire le moment de la panne par inspection directe comme celle de l'usure des véhicules. Le moment de la défaillance peut être prédit à partir de la distribution de probabilité de défaillance de l'expérience passée. Le problème est alors d'optimiser le temps, ce qui minimise le coût total qui peut être encouru. Autrement dit, il s'agit de minimiser la somme des coûts des équipements, le coût de remplacement et des coûts associés à la défaillance des appareils. Ce type de système de remplacement correspond au remplacement préventif.

Comme la nature des défaillances est de différents types, le système de remplacement est également différent. Ce travail se concentre principalement sur le remplacement des équipements qui se détériorent avec le temps et l'exploitation.

## **1.3. Hypothèses de remplacement de l'équipement**

Le remplacement des équipements dépend de différents facteurs qui ne sont pas toujours faciles à déterminer. Par conséquent, une hypothèse qui peut refléter la réalité et simplifier l'analyse de la politique de remplacement est très importante.



Certaines des principales questions qui ont besoin d'hypothèses sont l'horizon de planification, la technologie, la prédiction des modèles de coûts sur la vie des actifs, les taux d'intérêt et la disponibilité du capital.

### **1.3.1. Horizon de planification**

Il désigne l'intervalle de temps à l'avenir qui est pris en compte dans la formulation de la politique de remplacement. Il peut être fini ou infini. Horizon de planification fini où le projet aura une durée déterminée et prévisible et dont la formulation de la politique de remplacement pourra être plus réaliste. Horizon de planification infini, où le projet aura une durée indéterminée et non-prévisible. Il s'agit d'une hypothèse utilisée lorsqu'il n'est pas possible de prédire quand l'activité en cours d'analyse se termine.

### **1.3.2. Technologie**

Ce concept renvoie à l'élaboration des mesures innovantes faites sur les véhicules candidats qui vont remplacer ceux en opération. La plupart des modèles les plus couramment utilisés supposent que la technologie reste constante dans le temps. Cette approche conduirait à des décisions inappropriées si la technologie change (Nair et Hopp, 1992).

Par ailleurs, il est possible de croire que les véhicules qui seront disponibles dans le futur seront plus efficaces, fiables ou productifs que ceux actuellement sur le marché. Cette hypothèse conduit à la reconnaissance de l'obsolescence. Le problème est, bien sûr, de quantifier l'obsolescence afin de l'intégrer à la formulation d'une politique de remplacement optimale.

### **1.3.3. Prédiction des modèles de coûts sur la vie des actifs**

Une variété de prédictions pourrait être faite sur les revenus, les coûts et la valeur de récupération au cours de la vie d'un actif. Par exemple, des revenus peuvent être supposés croissants, les coûts non décroissants etc. L'hypothèse la plus largement répandue dans la littérature publiée concernant les modèles de remplacement suppose que les coûts d'entretien annualisés et les coûts d'exploitation annuelle ne diminuent pas pendant que

l'équipement vieillit et les valeurs de récupération sont supposées de ne pas augmenter avec l'âge (Nair et Hopp, 1992).

D'autres hypothèses en lien avec les coûts prévus de remplacement, de réhabilitation et de remise à neuf sont aussi prévues. Par exemple, le fait que l'utilisation de l'équipement diminue avec l'âge est une hypothèse qui prend de plus en plus la place dans les modèles de remplacement ces derniers temps (Kriett, 2009).

#### **1.3.4. La disponibilité du capital**

Il importe, dans une politique de remplacement de connaître la limite de la disponibilité des fonds. Il peut être nécessaire d'introduire un modèle de disponibilité du capital et du coût des capitaux supplémentaires au fil du temps par divers moyens. Les principales sources de fonds pour une industrie sont les amortissements et les bénéfices non répartis, les actions privilégiées, les baux de location, les ventes, les prêts bancaires etc.

#### **1.3.5. D'autres hypothèses**

Il y a une grande diversité d'hypothèses que les gestionnaires de flottes peuvent considérer dans leurs modèles de remplacement. À titre d'exemples, les taux d'intérêt peuvent être supposés non nuls afin d'obtenir les coûts finis ou bien l'hypothèse sur la demande future de services de la flotte étant considérée connue à partir de prévisions faites dans les plans. Ces variétés de situations peuvent suggérer un grand nombre de possibilités différentes pour le développement de politiques et de modèles de remplacement. Par exemple, l'élaboration d'un modèle en supposant une valeur de récupération de l'actif est différente de celui à développer supposant l'inexistence d'une valeur de récupération.

Enfin, il y a différentes façons de faire les hypothèses dans la conception d'un modèle ou même d'une politique de remplacement. L'importance demeure dans le fait qu'elles doivent représenter une bonne approximation à la réalité de la flotte. Celles-ci vont aussi aider à la détermination des vrais besoins à intégrer au processus de renouvellement comme tel. Le prochain chapitre est consacré à analyser les composantes de ce processus.

## 2. Le processus de renouvellement

Les décisions de renouvellement de véhicules sont l'un des défis majeurs des organisations où le résultat se reflète directement sur le changement des coûts de production, de l'état financier ou de la capacité d'utilisation. Un plan de remplacement peut être établi en fonction du rattrapage à faire ou du niveau de fiabilité de la flotte désiré afin de maintenir le niveau de service rendu aux clients. Morse et Bean (1998) mettent l'accent sur la planification du remplacement pour minimiser les coûts et concilier le budget de capital avec les coûts de maintenance.

Un plan de remplacement quantifié basé sur le rajeunissement de la flotte comporte des effets bénéfiques (Tecleab, 2002):

- Il fournit à l'organisation un moyen de contrôler les emprunts, les dépenses de capital et les coûts en général ;
- Il permet d'établir et de mieux contrôler le taux d'exploitation de la flotte ;
- Il propose des pistes de solutions à la programmation de la maintenance des équipements et à la conception du système de fiabilité ;
- Il offre des opportunités pour des gains appréciables à des niveaux raisonnables d'efforts d'investigation au sein des organisations.

L'établissement d'un plan de remplacement de flotte à long terme permet d'envisager des mesures financières susceptibles de favoriser le renouvellement, d'estimer leur faisabilité, de justifier et d'expliquer le besoin de renouvellement, de mesurer la capacité d'exploitation de la flotte à générer des flux de rentabilité et finalement, met en parallèle l'impact des différentes alternatives de financement sur les capacités de renouvellement du parc.

Sans plan à long terme, il est difficile pour les gestionnaires de déterminer si son programme de renouvellement actuel est efficace et approprié, compte tenu de son niveau de ressources.

Un plan de renouvellement se base sur une approche globale, axée sur les réalités de l'entreprise, et doit aller au-delà de la considération d'un simple critère de remplacement pour choisir les véhicules candidats à sortir de la flotte. En effet, un plan de renouvellement peut inclure plusieurs composants. Selon (Bilbona, 2003), ces composants sont :

- Les politiques et procédures systématiques de renouvellement ;
- Le programme de maintenance ;
- Les modèles de décision concernant les véhicules à remplacer et qui inclut des critères de renouvellement correspondant aux besoins identifiés ;
- L'analyse du coût sur le cycle de vie des véhicules. Cette analyse suppose que les coûts liés au remplacement sont connus ;
- Les moyens de financement ;
- Les projections financières et analyses.

Chacun de ces composants est abordé tout au long de ce mémoire. Il importe de considérer, dans le présent chapitre, plusieurs aspects qui y sont reliés. Le premier de ces aspects fait référence aux étapes du processus d'analyse de l'état du parc dans le but de déterminer les besoins, les objectifs et la politique de renouvellement. Le deuxième aspect traite les différents modèles disponibles dans la littérature pour faire le choix des véhicules à remplacer. Parmi ces modèles, une importance particulière est accordée à la méthode multicritère, se démarquant comme une méthode facile d'application et tenant compte la globalité des variables qui peuvent influencer le renouvellement d'une flotte spécifique. C'est pourquoi cette méthode est présentée en troisième lieu.

## **2.1. Les étapes du processus de renouvellement**

Même si différentes façons de concevoir et de réaliser le remplacement existent, plusieurs activités sont accomplies selon une logique organisée en étapes. Nous parlons d'abord de l'analyse de l'état actuel du parc qui nous fournit les données de base de ce processus. Vient ensuite la détermination des besoins qui nous mène à la fixation des objectifs d'une politique de renouvellement. Cette politique peut être conçue comme un cadre de référence pour la prise de décisions concernant la sélection des vieux véhicules et des stratégies d'acquisition des nouveaux. Nous pouvons concevoir ces étapes comme faisant partie d'un

processus qui est illustré à l'aide de la Figure 2.1. Chacune de ces étapes est étudiée dans les sections suivantes.

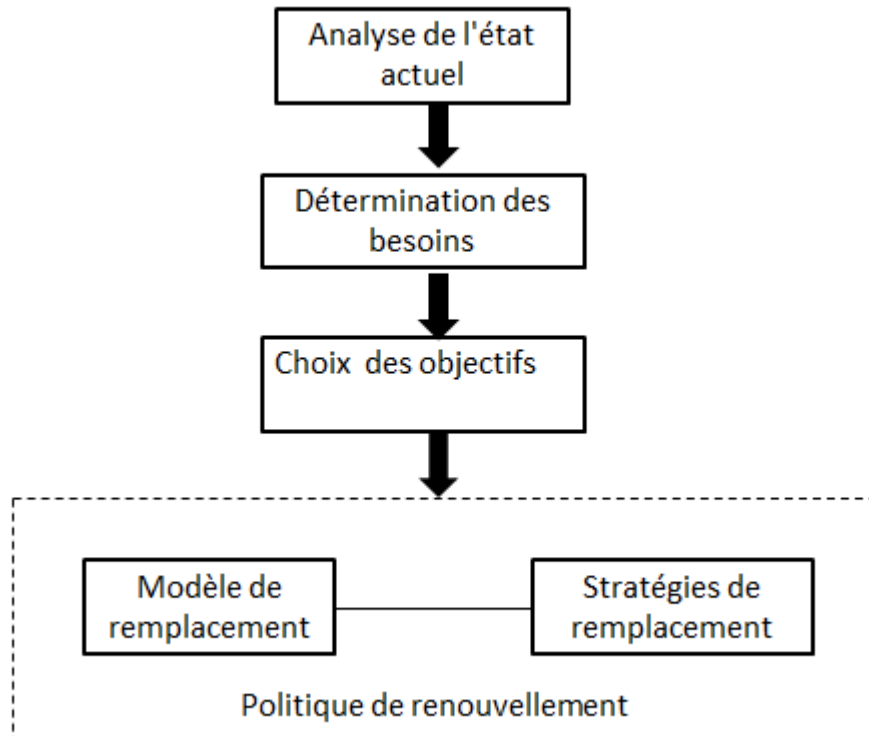


Figure 2. 1: Les étapes du processus de renouvellement.

### 2.1.1. Analyse de l'état actuel du parc

L'un des éléments majeurs d'un processus de renouvellement est la préparation et l'analyse données de base. La façon de faire des entreprises pour définir ces données varie selon le modèle de remplacement établi. Ainsi, la collecte et l'analyse de données constituent le point de départ du processus de renouvellement et donnent au gestionnaire des pistes d'actions concrètes permettant des gains en matière économique et environnementale.

Le but de cette première étape est de connaître l'état précis et exhaustif d'une flotte de véhicules au moment actuel. Il doit refléter le plus fidèlement possible une image réelle de la flotte quant aux objectifs, aux caractéristiques, à l'environnement, aux pratiques, aux

moyens et aux contraintes (Najahi, 2003). À partir de l'analyse de ces données, il est possible d'obtenir un diagnostic de l'état des lieux. Celui-ci met en évidence les points faibles et propose un plan d'amélioration si cela est nécessaire. Le diagnostic doit être fait par une personne responsable, qui connaît bien les pratiques de l'entreprise et qui est en mesure d'identifier le potentiel d'amélioration.

Dans le contexte d'un processus de renouvellement, le diagnostic peut être utilisé pour ressortir les besoins et les points d'amélioration de l'efficacité de la flotte. Par ailleurs, les décisions de maintenance influencent, de façon directe, celles concernant le renouvellement. C'est pourquoi il s'agit de tirer profit du diagnostic de maintenance pour y intégrer le diagnostic de renouvellement.

Le diagnostic doit être fait afin d'obtenir un bilan technique et environnemental. Plusieurs actions peuvent être réalisées afin d'obtenir un bilan précis de la flotte (Lorenzi, 2006) et (Maheshwari et Credle, 2008). Elles sont la classification des véhicules, la description du parc et la réalisation de l'état des lieux.

La classification des véhicules se fait en groupes distincts, y compris les voitures particulières, camionnettes, camions de différentes tailles et de configurations, et plusieurs types d'équipements spécialisés. La description du parc de véhicules doit se faire en spécifiant pour chaque type de véhicule, la date de fabrication, le modèle, le nombre d'années de service, le type d'usage et les données financières (prix d'achat, valeur en livres et calendrier de dépréciation d'usage). La réalisation d'un premier état des lieux se fait en tenant compte des données récupérables sur le site. Cela comprend l'étude des véhicules selon certaines catégories dont l'âge, le type de motorisation et de carburant utilisé, les coûts du carburant, les données de maintenance selon le type et le coût de la maintenance par véhicule et par année ainsi que le coût des assurances. Ce sont des données très importantes dans le cadre de ce bilan.

Le bilan technique est alors suivi par le bilan environnemental. Il consiste à faire l'analyse environnementale de la flotte dans l'optique du développement durable. Une attitude responsable des entreprises exige l'estimation des impacts de leurs activités sur l'environnement. Il s'agit de compléter les données techniques existantes par des

indicateurs environnementaux : émissions de CO2 et de polluants divers. Pour ce faire, divers outils ou logiciels existent. La ville de Montauban, par exemple, a utilisé pour ce bilan les logiciels de l'ADEME « Impacts<sup>®</sup> » et « AutoCoût<sup>®</sup> » (Lorenzi, 2006).

Le résultat de l'analyse environnementale consiste à établir les émissions de gaz à effet de serre à partir des différents types de véhicules et leurs indicateurs environnementaux respectifs. L'ensemble des informations collectées pour chaque véhicule peuvent être reportées dans un tableau de suivi. Ce tableau peut constituer une base de données à laquelle le gestionnaire de la flotte pourra se référer constamment.

Le tableau 2.1 (Lorenzi, 2006) montre un exemple de bilan environnemental pour la ville de Montauban pour une classe de véhicules. Y sont présentés les émissions de gaz à effet de serre des véhicules légers pour l'année 2006 (Lorenzi, 2006). Ce bilan a été mené en prenant en compte cinq paramètres : le dioxyde de carbone (CO2), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NOX), les Composés Organiques Volatiles (COV) et les particules - spécifiques aux motorisations diesel - potentiellement cancérigènes.

TYPE DE VÉHICULE	CO (TONNES)	NOX (KG)	COV (KG)	PARTICULES (KG)	CO2 (TONNES)
Véhicules particuliers	1,35	211,15	80,43	10,99	120,43
Véhicules utilitaires légers	3,67	1004,30	325,53	51,88	269,31
TOTAL VÉHICULES LÉGERS	5,02	1215,45	405,96	62,87	389,74

Tableau 2. 1: Bilan environnemental de la flotte Montauban : Émissions des véhicules légers pour l'année 2006.

Une fois l'état général des lieux établi, il convient d'en faire une analyse pour déterminer les besoins spécifiques de renouvellement.

### **2.1.2. Détermination des besoins de renouvellement**

À partir du bilan technique et environnemental, il est possible d'identifier les besoins en matière de renouvellement. Les facteurs clés qui peuvent ressortir de cette analyse doivent être examinés et ajustés périodiquement. En voici une liste :

- L'utilisation de la flotte
- Les indicateurs de durée de vie utile
- Le délai de remplacement actuel
- La réduction des coûts
- Les besoins d'entretien
- L'amélioration du temps de réparation
- D'autres exigences opérationnelles

D'ailleurs, les résultats de l'évaluation de l'état des lieux peuvent être utilisés pour établir un programme de renouvellement en fonction des besoins identifiés et ainsi d'améliorer l'efficacité du système de gestion de la maintenance (appelé MMS en anglais) pour l'enregistrement des activités d'entretien.

À partir des besoins détectés, il est possible de déterminer les objectifs du renouvellement et les bénéfices qui en découlent. C'est ce qui est abordé dans la section suivante.

### **2.1.3. Objectifs du renouvellement d'une flotte**

Il est possible de mettre en place différentes actions de renouvellement. En premier lieu, il peut être conçu comme un travail important qui n'augmente pas la capacité de conception de l'actif, mais restaure, réhabilite, remplace ou renouvelle un actif existant à son potentiel de service d'origine. Ce travail peut aussi être appelé «mise à jour». En deuxième lieu, le renouvellement peut donner comme résultat la diminution du nombre de véhicules si l'objectif est de maintenir un équilibre entre la capacité de la flotte et la demande. En dernier lieu, il peut mener à une mise à jour au-delà de la capacité actuelle qui se traduit par l'augmentation de la taille et de la capacité (Albany City, 2011).



Les entreprises seront intéressées à ramener la flotte à son potentiel de service d'origine lorsque celle-ci est devenue vieillissante, constituée de véhicules anciens, chers et en perte de compétitivité, mais que la flotte répond bien aux exigences de la demande. C'est donc un rajeunissement important de la flotte qu'il faut rendre possible.

Si l'objectif est de maintenir un équilibre entre la capacité de la flotte et la demande, les objectifs du renouvellement peuvent pointer sur la diminution du nombre de véhicules en privilégiant l'acquisition de véhicules plus performants, construits de façon à permettre une plus grande flexibilité afin de répondre aux exigences changeantes de la demande et ce, dans le respect de l'environnement.

Les entreprises peuvent profiter du renouvellement pour augmenter la taille de la flotte et desservir d'autres zones. C'est le cas contraire à la situation décrite au paragraphe précédent. Ainsi, de nouveaux actifs peuvent résulter de la croissance des besoins économiques, sociaux ou environnementaux.

Que ce soit pour maintenir, diminuer ou augmenter la taille et la capacité de la flotte, les objectifs peuvent s'exprimer en termes de maximisation de la productivité, de minimisation des impacts environnementaux, économiques et de sécurité publique des incidents de pollution par l'utilisation des véhicules vieillissants.

Il importe de souligner l'importance que revêt une formulation adéquate des objectifs de renouvellement. Ils constituent la matière première pour la formulation d'une politique de renouvellement qui réponde, de la meilleure façon, aux besoins et tient compte de toutes les contraintes de la flotte. Ce point nous mène à nous concentrer sur la politique de renouvellement.

#### **2.1.4. Politique de renouvellement**

Une politique de renouvellement constitue le cadre de référence pour prendre des décisions relatives aux critères déterminant les candidats à remplacer, au choix du modèle de remplacement approprié et aux stratégies de renouvellement.

La formulation et la mise en œuvre d'une politique de remplacement joue un rôle important dans le développement technique et économique d'une organisation. Les gestionnaires de flottes doivent identifier périodiquement les véhicules à remplacer, en tenant compte des contraintes telles qu'un budget de remplacement limité. Ils doivent agréger de nombreux paramètres quantitatifs dans le cadre d'une politique de remplacement optimale à travers un modèle approprié qui devient un outil précieux dans la formulation des aspects objectifs du processus de décision (Dietz et Katz, 2001).

L'élaboration d'une politique de renouvellement est influencée par des contraintes spécifiques dont la disponibilité des fonds est une des plus marquantes. Étant donné les différentes stratégies d'obtention de sources de fonds pour supporter l'exploitation de l'entreprise, les possibilités de développement de politiques en matière de remplacement sont aussi vastes et diversifiées. Par exemple, si une automobile est supposée ne pas avoir de valeur de récupération, la politique à développer sera différente que pour celle qui en a une valeur. Dans le même sens, la politique changera s'il s'agit de renouveler une flotte de véhicules semblables au lieu d'une flotte dont les véhicules sont de différents types. Cette situation particulière s'appelle, respectivement, politique de remplacement individuel ou de groupe.

Le remplacement individuel constitue une politique selon laquelle le remplacement est effectué individuellement en fonction du taux de défaillance ou de mortalité obtenus à partir d'un large échantillon de base. En contrepartie, le remplacement de groupe suggère l'existence d'un nombre de véhicules du même type à un coût non négligeable et qui sont de plus en plus responsable des défaillances. Dans de tels cas, il peut être plus économique de remplacer les véhicules du même groupe comme une mesure préventive qui peut être réalisée périodiquement (Tecleab, 2002).

Certaines politiques peuvent donner lieu à des remplacements caractérisés par de longs délais tandis que d'autres peuvent être assez réguliers. Ainsi, le remplacement tardif provoque une augmentation de la charge de l'entretien annuel et une incidence plus élevée d'immobilisation des véhicules tandis que le remplacement précoce traîne des dépenses excessives de capitaux (Dietz et Katz, 2001). Dans cet éventail de possibilités se retrouvent

tant la politique de remplacement préventif que la politique de remplacement lorsque la réparation n'est plus envisageable.

Une politique de remplacements tardifs peut être désastreuse pour une entreprise. Reporter le remplacement des équipements peut parfois conduire à une baisse du niveau de service rendu aux clients, et à long terme, une récession économique peut se produire. Même s'il est possible d'argumenter de façon logique et pratique, les raisons pour remplacer un équipement à un certain moment précis de sa vie en tenant compte de tous les facteurs, de nombreuses entreprises peuvent le retarder. En dehors du temps de remplacement économique, il y a certaines raisons pour lesquelles l'organisation peut préférer retarder le remplacement des équipements dont (Tecleab, 2002) :

- L'entreprise fait des profits avec son équipement actuel ;
- L'équipement actuel est opérationnel et de qualité acceptable ;
- Il existe une incertitude associée à la prévision des dépenses d'une nouvelle technologie, tandis que les dépenses de l'équipement actuel sont relativement certaines ;
- Les coûts irrécupérables influencent psychologiquement les décisions de remplacer le matériel ;
- La décision de remplacer l'équipement est un engagement plus fort pour une période de temps dans l'avenir que de le faire au moment actuel ;
- Les gestionnaires ont tendance à être conservateurs dans les décisions concernant le remplacement des équipements coûteux ;
- Il peut y avoir une contrainte budgétaire pour l'achat de nouveaux équipements, mais aucune pour l'entretien des équipements existants ;
- Il peut y avoir une incertitude concernant la demande future pour les services de l'équipement en question ;
- Il prévaut une attitude passive face au fait que les améliorations technologiques dans l'avenir pourraient rendre obsolètes les équipements actuellement disponibles ;
- Il peut y avoir une réticence à être un pionnier dans l'adoption de nouvelles technologies qui fait en sorte que l'entreprise attend de nouvelles actions de la part de la concurrence au lieu de remplacer tout de suite.

Par ailleurs, les politiques avec des périodes de remplacements régulières supposent des investissements en capitaux nécessitant une attitude d'ouverture face aux disponibilités de fonds de remplacement. C'est dans cet esprit qu'une politique de remplacement préventif s'inscrit. Ce concept est étudié plus en détail dans le cadre des outils de gestion et d'optimisation de la maintenance au chapitre 5.

Étant donné que les politiques peuvent varier d'une entreprise à l'autre en fonction des besoins et de contraintes d'exploitation, le défi des gestionnaires est, dans la pratique, de trouver une politique de remplacement optimale qui réponde, de la meilleure façon, aux conditions particulières et aux objectifs en matière de remplacement.

De cette manière, une politique de remplacement optimale serait celle qui donne le remplacement des véhicules à un moment opportun et au coût le plus bas possible. Le remplacement opportun de véhicules augmente la sécurité du public, contrôle les coûts de maintenance et de réparation, permet une meilleure gestion de coûts de propriété des actifs, une gestion efficace de la flotte et des activités de maintenance, projette une image positive aux clients, à la haute direction et au publique en général.

La question suivante qui découle de la politique de renouvellement est de savoir comment identifier les candidats à remplacer parmi les membres de la flotte afin que les coûts soient minimisés ou afin d'atteindre tout autre objectif. En conséquence, nous accordons une place propre aux différents modèles de renouvellement qui permettent de répondre à cette question. La section suivante vise à établir une taxonomie de ces modèles qui sont mis à la disposition des gestionnaires pour choisir lequel il est possible de mettre en œuvre en accord avec la politique de renouvellement.

## **2.2. Modèles de renouvellement**

Différentes questions sont posées au sujet d'un modèle de remplacement. La première question est de savoir qu'est-ce qu'un modèle de remplacement ? Pourquoi est-il important ? Quel est son rapport avec une politique de remplacement ? Comment identifier les candidats à remplacer ? Quelle est la base d'un modèle de remplacement ? Quels sont les modèles utilisés ? Les lignes qui suivent répondent à ces questions.

Un modèle ayant pour but la sélection des véhicules à remplacer constitue en fait un programme permettant de déterminer la séquence des véhicules qui doivent être remplacés et à quel moment, selon un ordre de priorité. Le programme contient la liste de véhicules avec leurs dates de remplacement sur un délai défini. Il est important d'avoir un modèle pour faire le choix des véhicules à remplacer. Les gestionnaires peuvent y avoir recours afin de les utiliser dans la prise de décisions et qui aideront à la minimisation des coûts de possession de chacun des véhicules.

Pour mettre en œuvre un modèle de remplacement, certains aspects doivent entrer en considération (Albany City, 2011) :

- Les données doivent être disponibles dans un environnement de calcul pour assurer la portabilité, afin de minimiser les besoins en formation ;
- La clarté, la transparence, et la pertinence dans la prise des décisions ;
- Le modèle doit être simple mais assez puissant pour être un bon outil pour influencer sur la taille du budget de remplacement.

Aujourd'hui, les modèles pour le remplacement de l'équipement sont entièrement pris en charge par des outils informatiques ou des logiciels pour manipuler et traiter les données et ainsi obtenir des informations significatives. Un bon choix du modèle dépend des critères établis (Kriett, 2009).

En général, la détermination de critères est le point de base pour identifier les candidats au remplacement. Les critères les plus utilisés sont présentés à la section suivante tandis que plusieurs modèles se trouvent à la section 2.2.2 et des commentaires et discussions sur ces modèles sont présentés à la section 2.2.3.

### **2.2.1. Critères de renouvellement**

Les critères de renouvellement font référence aux facteurs qui ont une influence marquante sur la politique de remplacement, à partir d'une analyse exhaustive. La détermination des critères de renouvellement facilite l'identification du modèle qui peut être utilisé. Les entreprises peuvent donc faire le choix entre l'utilisation d'un critère ou une combinaison

de plusieurs. L'un des classements des critères les plus fréquemment utilisés est à caractère économique, parmi lesquels se trouvent les suivants : La durée de vie optimale, les limites des coûts de réparation, le plus bas des coûts totaux et l'utilisation décroissante (Kriett, 2009).

#### **2.2.1.1. La durée de vie optimale**

La vie économique réfère à la période comprise entre la mise en service d'un véhicule et le moment opportun de remplacement. Durant cette période les coûts de possession sont au plus bas.

Plusieurs études ont été faites pour trouver la vie économique optimale d'un véhicule. L'une des approches les plus populaires basées sur la durée de vie optimale comme critère de remplacement est l'analyse du coût de cycle de vie, qui est présentée à la section 4.4. Cependant, les points de vue sur les frais qui doivent être intégrés à l'analyse varient d'un auteur à l'autre. Ici, nous allons aborder le sujet sous la perspective de gestion financière proposée par Blank et Tarquin (2005).

La méthode qu'ils utilisent est appelée «la méthode de valeur annuelle» et se réfère à la vie de service économique. Selon ces auteurs, la durée de vie de service économique d'un véhicule est le nombre d'années  $n$ , durant lesquels le coût annuel uniforme équivalent (CAUE) est au minimum, en tenant compte des estimations des coûts les plus récents sur toutes les années possibles de durée de vie des actifs.

Une façon d'aborder cette analyse est d'acquérir des données provenant d'autant de véhicules que possible et d'obtenir les moyennes pour ces dépenses. Pour ce faire, un modèle de régression linéaire peut être utilisé pour déterminer chaque composant des coûts prévus sur le nombre d'années de vie des véhicules. Cette façon d'aborder le problème considère l'âge des véhicules comme la variable indépendante. Une autre régression linéaire peut être utilisée pour déterminer le nombre attendu de défaillances par période d'années  $n$ . Encore une fois, l'âge du véhicule est considéré comme la variable indépendante. Pour le cas spécifique du coût d'opportunité en raison de défaillance catastrophique, il peut être calculé sur la base de la probabilité d'une défaillance

catastrophique. Si on considère que l'âge des véhicules suit une distribution normale avec une moyenne et un écart type données, la probabilité cumulée de défaillance catastrophique va augmenter avec l'âge. La probabilité peut être calculée en utilisant la table de  $Z$  ou tout simplement l'Excel.

Pour trouver le coût minimum de vie utile, on augmente la valeur de la vie utile, appelée  $k$ , à partir de 1 jusqu'à la valeur maximale attendue pour l'actif,  $N$  c'est-à-dire,  $k=1, 2, 3, \dots, N$ . Pour chaque valeur de  $k$  se calcule la valeur du  $CAUE_K$  en utilisant la formule suivante (Blank et Tarquin, 2005) :

$$CAUE_K = P(A/P, i\%, k) - VS_K(A/F, i\%, k) + [\sum_{j=1}^k CAO_j (P/F, i\%, j)](A/P, i\%, k) \quad (2.1)$$

Où  $VS_K$  : Valeur de récupération si l'actif est retenu  $k$  années et  $CAO_j$  coût annuel d'opération durant l'année  $j$  ( $j=1, 2, 3, \dots, k$ )

Les éléments suivants doivent être transformés en valeurs annuelles (AW) pour chaque nombre d'années, où le véhicule est étudié, pour un taux d'intérêt  $i$  :

- Le coût d'acquisition du véhicule
- Les coûts d'opération et de maintenance (coûts d'entretien majeur, coût d'opportunité et coût d'opportunité en raison de défaillances catastrophiques)
- La valeur de récupération à l'année  $n$
- La valeur de récupération à la fin

Ces dépenses en valeur annuelle seront ensuite additionnées pour obtenir une valeur du coût d'exploitation annuel (CAO) pour chaque année. La valeur annuelle de récupération de capital doit ensuite être ajoutée au CAO pour obtenir la durée de vie de service économique (ESL). Le temps optimal de remplacement serait celui où l'ESL est à un minimum.

Il est important de rendre compte de tous les coûts qui dépendent de l'âge du véhicule. Toutefois, si le coût ne change pas avec l'âge du véhicule (tels que le coût du travail dans certains cas particuliers), il peut ne pas être inclus dans le calcul.

### **2.2.1.2. La limite des coûts de réparation**

La limite de réparation est une limite sur le montant d'argent qui peut être consacré à la réparation d'un véhicule à un emploi particulier (Kriett, 2009). Les valeurs des limites de réparations sont fonction du type, de l'âge et, dans certains cas, de l'emplacement du véhicule. Un véhicule dont les travaux de réparation vont au-delà du coût total de réparation spécifique, n'est pas réparé, mais est mis hors service. Ainsi, la limite réparation fournit une politique de remplacement économique qui assure que les véhicules dépassant en permanence ce coût sont mis hors de service (Drinkwater et Hastings, 1967).

### **2.2.1.3. Le plus bas des coûts totaux (LTCP)**

Le calcul du point le plus bas du coût total (LTCP) est basé sur le concept de la courbe des coûts sur la durée de vie pour chacun des équipements. La courbe de coût total est obtenue par la somme du coût d'entretien cumulé par unité de temps spécifique et du coût en capital cumulé par unité de temps de fonctionnement spécifique. Le coût en capital est obtenu en déduisant du coût d'acquisition, le crédit d'impôt et la valeur de revente (Wafer, 1997). L'évaluation des coûts de propriété doit tenir compte des facteurs tels que l'inflation, l'intérêt, l'actualisation des coûts, l'amortissement et les crédits d'impôts liés à l'achat ou à la location d'un véhicule.

Les coûts d'entretien indiquent le montant total dépensé dans le maintien des unités en état de fonctionnement. La courbe de coûts sur la durée de vie considère les coûts d'opération et de maintenance sur toute la vie utile du véhicule. Selon cette méthode, les coûts initiaux de même que les coûts subséquents sont évalués.

Les frais inhérents à la possession et à l'utilisation d'un véhicule sont classifiés en deux catégories : Les frais fixes et les frais variables. La différence entre ceux deux types de frais est que les frais variables dépendent de l'utilisation du véhicule, soit le kilométrage annuel, tandis que les frais fixes sont indépendants du kilométrage. L'ensemble de ces frais sont présentés dans le Tableau 2.2. Chacun de ces composants sont analysés en détail dans (Wafer, 1997).



FRAIS FIXES	FRAIS VARIABLES
Coûts d'acquisition plus taxes, transport et préparation	Carburant
Immatriculation et permis	Frais d'entretien et réparation en incluant les mises au point et les vidanges d'huile.
Assurances	
Formation des mécaniciens	
Achat d'outillage et d'équipement spécialisé	
Pièces de rechange	
Financement	
Dépréciation	

Tableau 2. 2 : Frais fixes et frais variables.

Une structure simplifiée des coûts sur la durée de vie du véhicule est illustrée à la Figure 2.2 (Tecleab, 2002). Cette structure suppose une utilisation constante des véhicules et de l'inclusion des coûts dus aux pannes dans les coûts d'entretien, sauf les réparations qui sont causées par l'abus de l'opérateur. Cette structure montre la relation inverse entre les coûts d'entretien et les coûts d'acquisition en fonction du temps.

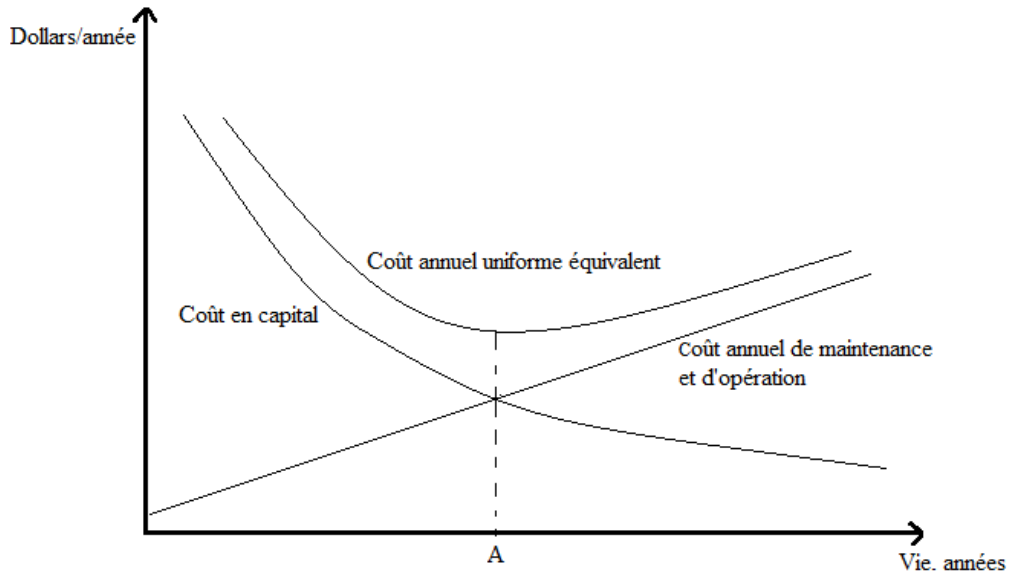


Figure 2. 2 : LTCP, coûts sur la durée de vie.

Le point A dans la Figure 2.2 est le plus bas du coût total (LTCP) et s'obtient en projetant la courbe du coût total dans le temps. Il est possible, par extrapolation de planifier un remplacement de l'équipement avant que des réparations majeures deviennent nécessaires.

Le point visé est le moment où le véhicule sera opérationnel à son plus bas coût total. La courbe de coûts totaux commence à diminuer après un certain temps jusqu'à un certain point où les coûts commencent à augmenter ce qui veut dire que le matériel commence à consommer progressivement les revenus générés.

Même si la courbe des coûts commencera à augmenter après ce point, et c'est à ce moment que les équipements seront prêts pour le remplacement, cela ne veut pas dire qu'il s'agit du point de coupure pour remplacement de l'équipement. Alors, il y a un intervalle réel où les gestionnaires des flottes peuvent faire le remplacement avant que les coûts totaux ne deviennent trop élevés. Cet intervalle commence un peu avant et se rend un peu après le point le plus bas des coûts.

#### **2.2.1.4. Le changement technologique**

Traditionnellement, une nouvelle technologie est évaluée soit en termes de l'augmentation des revenus qu'elle amène ou de la diminution des coûts d'acquisition et d'exploitation de la nouvelle technologie. La plupart de ces modèles supposent que la technologie améliore de manière déterministe, (en termes de coûts et revenus) et le calendrier des améliorations technologiques est connu d'avance (Nair et Hopp, 1992). Si l'hypothèse de ces modèles est une bonne première approximation, elle ne s'adapte pas toutefois à la réalité du fait que les améliorations technologiques peuvent rarement être prévues avec certitude. Il n'y a pas longtemps que des changements technologiques dans l'incertitude ont été pris en considération dans les recherches portant sur la modélisation du problème de renouvellement en raison de ces changements.

#### **2.2.1.5. Autres critères**

Kriett (2009) a identifié les critères utilisés dans la pratique par les entreprises. On y retrouve entre autres le kilométrage parcouru par heure, le temps de service, les coûts d'opération, les coûts de réparation, le coût d'acquisition, l'évaluation physique et les différentes normes fixées essentiellement à partir de l'expérience. Ainsi, dans la pratique, nombre d'entreprises utilisent le classement simple des actifs en tenant compte un critère de remplacement spécifique.

Selon la même étude, le choix des critères utilisés dans les décisions de remplacement provient de l'expérience et non pas de modèles scientifiques. La revue de littérature et de sondage téléphonique que (Kriett, 2009) a mené montrent qu'il y a une divergence entre la théorie et la pratique. Le résultat du sondage téléphonique indique que les critères de kilométrage / heure et des heures de service sont utilisés par 89% des personnes contactées. Seulement 56% utilise des limites des coûts de réparation dans leurs modèles.

Dans les décisions de remplacement définitif, les gestionnaires peuvent tenir compte d'un ensemble de critères dépendamment de l'importance qui leur est octroyée dans la politique de renouvellement. Certains de ces critères peuvent être facilement quantifiables tandis que d'autres pas nécessairement.

## **2.2.2. Quelques modèles développés**

L'approche traditionnelle pour le problème de remplacement des équipements met l'accent sur la détérioration physique des équipements existants (Nair et Hopp, 1992). L'idée de base qui en découle est de remplacer l'équipement lorsque ses coûts de fonctionnement et d'entretien deviennent suffisamment élevés en valeur actuelle. Il est possible aussi de tenir compte d'autres critères économiques, comme ceux expliqués dans la section 2.2.1. Ainsi, pour justifier un remplacement une combinaison de différents types de critères peut être utilisée.

Outre la détérioration physique des équipements en tant que facteur qui oriente la conception des modèles de renouvellement, il y a aussi des modèles qui sont appuyés par des facteurs environnementaux et technologiques.

Dans les sections suivantes, différents modèles sont classés selon les critères utilisés. Ainsi, se trouvent des modèles axés sur des critères économiques, technologiques, environnementaux ou une combinaison de critères précédents.

### **2.2.3.1. Modèles axés sur des critères économiques ou financiers**

#### *Modèle de Kriett*

L'étude de (Kriett, 2009) vise à évaluer différentes mesures de priorisation pour le remplacement d'équipement par simulation ainsi que leurs essais pour une flotte de véhicules. Cette recherche utilise uniquement le coût de durée de vie des équipements et les données d'utilisation. Une partie de cette procédure utilise des distributions statistiques qui sont dérivées de données historiques réelles. La taille de la flotte utilisée pour la simulation reste constante au fil du temps. La pièce maîtresse de la simulation est la capacité d'appliquer différentes mesures de remplacement pour la priorisation de la même flotte d'équipements dans des circonstances identiques. La contribution de cette recherche est l'évaluation et la sélection des mesures de priorités pour la minimisation des coûts de remplacement. Elle compare sa relative efficacité à d'autres mesures avec des données et du raisonnement scientifique.

### *Modèle de Drinkwater et Hastings*

Le modèle de (Drinkwater et Hastings, 1967) propose un système pour déterminer l'optimum des limites de coûts de réparation dans les procédures de remplacement de véhicules. Ces auteurs déterminent la limite de réparation optimale à l'aide de deux méthodes. La première utilise une équation qui trouve l'optimum par approximations successives. La deuxième méthode est basée sur les distributions de fréquences pour les coûts de réparation et de visites de réparation.

Les auteurs montrent que le critère de la limite des coûts de réparation a des avantages par rapport au critère de la limite de durée de vie. Les méthodes développées dans l'étude concernent les applications où l'équipement est remplacé à cause des coûts de réparation qui augmentent avec l'âge. Toutefois, le cas où le coût de réparation considéré comme une fonction de deux variables indépendantes (par exemple l'âge et le kilométrage) n'est pas pris en considération.

Les aspects les plus marquants de ce modèle sont les suivants :

Si on considère un véhicule à l'âge  $t$  qui a besoin de réparation, les variables suivantes sont définies :

$r$  : Coût de cette réparation

$m(t)$  : Coût total prévu des réparations futures

$g(t)$  : Vie restant attendue pour le véhicule

Si le gestionnaire décide de réparer le véhicule, le coût futur par véhicule par année sera :

$$\frac{r+m(t)}{g(t)} \quad (2.2)$$

Si le gestionnaire décide de sortir le véhicule du parc, le futur coût attendu par véhicule, par année sera  $\theta$  qui est défini par l'équation 2.3 :

$$\theta_t = \frac{y}{t} \quad (2.3)$$

Où  $y$  correspond au coût cumulé d'un véhicule et l'âge est  $t$ .

La décision pourrait être en faveur de la réparation du véhicule, alors :

$$\frac{r+m(t)}{g(t)} < \theta \quad (2.4)$$

Si la décision de sortir le véhicule du parc est attendue, la valeur critique de  $r$  arrive quand :

$$\frac{r_0(t)+m(t)}{g(t)} = \theta \quad (2.5)$$

$r_0(t)$  : Représente la limite de réparation d'un véhicule au temps  $t$ . Cette limite est donc définie par l'équation de la limite de réparation suivante :

$$r_0(t) = \theta \times g(t) - m(t) \quad (2.6)$$

Des formules pour l'ensemble de la flotte sont issues des résultats précédents. Le coût moyen par véhicule par an, pour l'ensemble de la flotte, composé de  $n$  véhicules, sera :

$$\theta = \frac{y_1+y_2+y_3+\dots+y_n}{t_1+t_2+t_3+\dots+t_n} \quad (2.7)$$

Où  $y_i$  est le coût cumulé d'un véhicule  $i$  et  $t_i$  l'âge du véhicule  $i$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

À partir des équations 2.6 et 2.7, les auteurs arrivent, par simulation, à obtenir une équation du coût qui est minimisée pour trouver les limites de réparation optimale.

#### *Modèle de Dietz et Katz*

En l'absence de toute contrainte budgétaire globale, pour (Dietz et Katz, 2001), une entreprise pourrait déterminer une politique de remplacement optimale pour chaque véhicule de façon indépendante. Ils ont développé un modèle analytique convaincant afin de trouver les politiques de remplacement optimales pour une flotte diversifiée de véhicules

d'une importante société de télécommunications. Ce modèle pourrait également être appliqué à d'autres entreprises, y compris des entreprises de logistique, de transport, des organismes de service public (comme la police et l'assainissement), ainsi que d'autres entités qui opèrent de grandes flottes de véhicules de diverses catégories.

Le modèle tient compte des facteurs objectifs significatifs y compris les coûts de maintenance, les coûts d'opportunité de temps d'arrêt, les amortissements, la valeur de récupération et le coût de remplacement avec une contrainte budgétaire sur les dépenses en immobilisations de la flotte. Pour chaque véhicule candidat à être remplacé, il attribue un score basé sur l'âge, le type, le coût de remplacement et les coûts de maintenance estimés pour la prochaine année d'exploitation. Le modèle classera ensuite les commandes des véhicules par score et les identifie dans un but de remplacement.

Le modèle analytique, appelé «Va Room» (modèle de remplacement des véhicules), se compose de plusieurs feuilles de travail intégré : une feuille de calcul maître et une feuille de référence supplémentaire pour chaque groupe de véhicules comme illustré à la figure 2.3 (Dietz et Katz, 2001). La Feuille maître est organisée par score (du plus haut au plus petit) et pour un budget de remplacement donnée (pour l'exemple, \$1.000.000,00) :

## VaRoom (Modèle de remplacement)

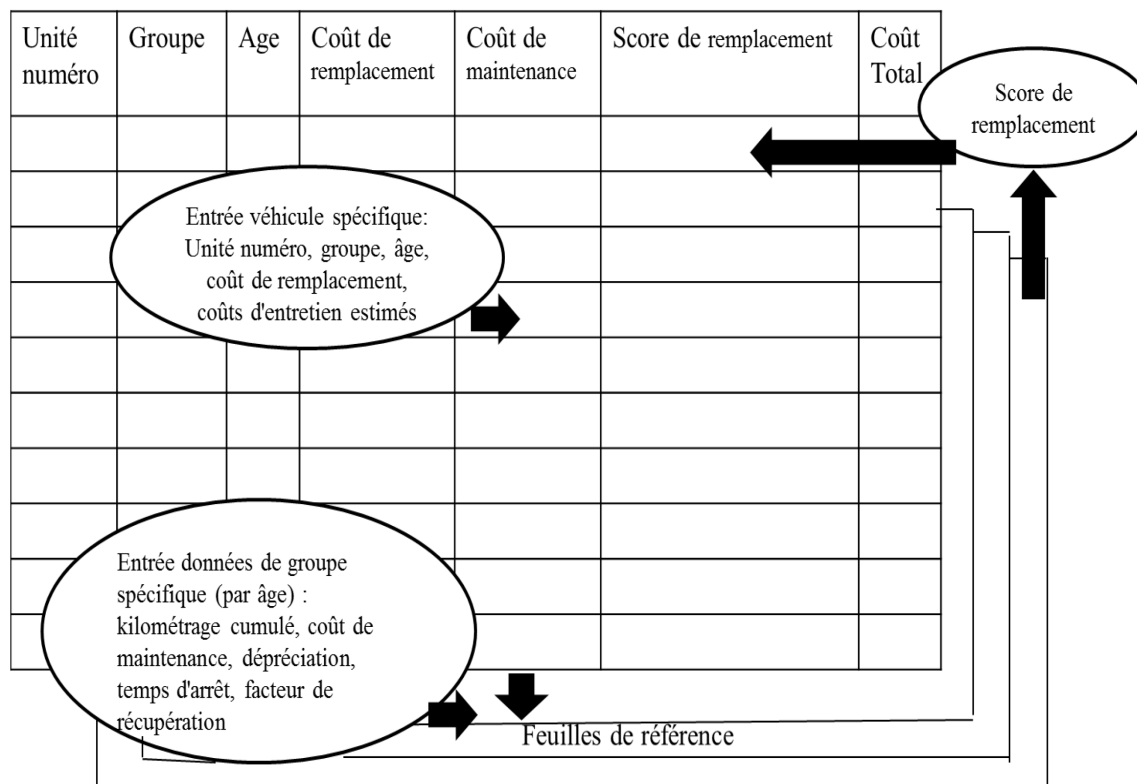


Figure 2. 3: Feuille de calcul maître du modèle appelé «Va Room».

L'utilisateur saisit les données des véhicules spécifiques via la feuille de calcul maître : le numéro de l'unité (pour identification), le groupe, l'âge, le coût de remplacement et les coûts d'entretien estimés dans la prochaine année d'exploitation. Ces données sont automatiquement transmises à la feuille de référence appropriée, qui calcule et retourne un score de remplacement pour chaque véhicule candidat. L'utilisateur peut alors activer un bouton de tri pour le classement des véhicules en fonction du score. Pour accéder à l'information plus fidèle sur tous les véhicules candidats, l'utilisateur peut afficher la feuille de référence associée en double cliquant sur la ligne d'entrée correspondant de la feuille maître.

La feuille de référence contient également les paramètres économiques fixes, y compris le coût d'opportunité encourus pour chaque indisponibilité (temps d'arrêt), le taux



d'actualisation annuelle, le taux marginal d'imposition de la société, ainsi qu'un facteur de récupération. Le facteur de récupération, qui peut être dérivé à partir des données historiques, spécifie la partie moyenne de la valeur comptable qui serait obtenue en retirant un véhicule classique.

*Modèle mis en pratique par Narrabri Shire Council (Australie)*

Le Conseil (Narrabri Shire Council, 2011) identifie les actifs nécessitant un renouvellement en ayant comme critère fondamental les estimations de durée de vie restante obtenues à partir des feuilles de registre des actifs sur le «modèle de dépenses prévues». Il établit ensuite une liste de candidats possibles qui peuvent être inspectés pour vérifier l'exactitude de l'estimation de durée de vie résiduelle et développer une estimation de renouvellement provisoire. Les propositions vérifiées sont ensuite classées par ordre de priorité et les fonds nécessaires sont prévus dans le budget des programmes de travaux futurs.

**2.2.3.2. Modèles basés sur des critères technologiques**

*Modèle de Nair et Hopp*

L'étude menée par Nair et Hopp (1992) considère le problème de choisir entre conserver un équipement ou le remplacer par une technologie plus avancée disponible sur le marché. Cette décision tient compte à la fois la nature de la technologie, des alternatives de remplacement disponibles et de la possibilité de futurs progrès technologiques. Ce problème est compliqué par le fait que d'autres améliorations de la technologie pourraient se produire dans l'avenir et ces améliorations peuvent avoir une incidence sur la décision actuelle. Ils modélisent ce problème comme un processus infini de décision de Markov avec un horizon non-stationnaire.

Leur recherche tient compte du cas où le remplacement de l'équipement considère des variables non-stationnaires dans le temps. Ces variables sont tant les prévisions technologiques, que les recettes et les fonctions de coûts. Ils ont proposé une méthode pour le calcul de la décision d'équipement optimal de remplacement pour le traitement de ces variables. En outre, les valeurs de récupération ont été considérées dans leur travail. Des

résultats structurels sur la sensibilité de la décision optimale aux changements de prévisions sont également discutés.

Le modèle considère seulement trois types de technologies, à savoir : La technologie à portée de main, une «meilleure» des technologies actuellement disponibles sur le marché, et un «encore mieux» de la technologie qui pourrait être disponible à l'avenir. Ce modèle est limité à l'hypothèse dans l'avenir que seulement une nouvelle technologie peut apparaître, en plus de la technologie déjà disponible sur le marché au moment actuel. Cette restriction suggère le besoin de travaux supplémentaires pour caractériser le problème de remplacement de l'équipement lorsque plus d'une alternative est disponible sur le marché dès le début. La situation où plus d'une amélioration peut se produire dans l'avenir peut être aussi considérée.

### **2.2.3.3. Modèles qui utilisent une combinaison de critères précédents**

#### *Modèle de Sloan*

Cet auteur propose un modèle qui inclut des facteurs économiques et environnementaux pour obtenir un équilibre de ces facteurs lors de la prise de décision concernant le renouvellement d'équipement dans un contexte de changement technologique (Sloan, 2011). Le document donne des pistes aux décideurs pour la mise en œuvre de mécanismes qui peuvent encourager et maintenir un comportement écologiquement responsable dans l'industrie.

Le problème est modélisé en utilisant un processus de décision markovien. L'objectif est d'adopter une technologie d'une façon qui maximise la récompense attendue actualisée sur un horizon fini.

Le modèle permet de choisir entre «conserver la technologie actuelle», acquérir une nouvelle technologie ayant moins d'impact sur l'environnement ou attendre l'arrivée sur le marché d'une nouvelle technologie propre qui, supposément, va bientôt être disponible (qui doit encore être introduite). Le modèle suppose des situations dans lesquelles le nouvel équipement a un certain avantage sur l'équipement qui est remplacé.

La technologie employée par l'entreprise dès le début du problème est étiquetée technologie 0. Cette technologie peut être remplacée par une nouvelle technologie, la technologie étiquetée 1, qui est actuellement disponible. Sinon, l'entreprise peut attendre l'arrivée d'une technologie encore plus récente, la technologie étiquetée 2. Ce processus de développement de la technologie séquentielle devrait se poursuivre au fil du temps jusqu'à ce qu'un total de  $n$  nouvelles technologies soit disponible. Pour généraliser ce scénario, on note la technologie actuelle comme  $i$ , une technologie plus récente qui est disponible dès maintenant comme  $j$  et la plus récente technologie disponible en tant que  $k$ . L'état du processus de décision est désigné par la paire  $(i, k)$ , indiquant la technologie actuellement en cours d'utilisation et de la dernière technologie disponible. Lors du début du problème, l'état est  $(i = 0, k = 1)$ .

Le problème est optimisé sur un horizon fini noté  $T$  et une période dans cet horizon est désignée par  $t$ . Étant donné que  $k$  est la dernière technologie disponible, la technologie suivante,  $k + 1$ , sera introduite au début de la prochaine période,  $t + 1$ , avec probabilité  $p_{t+1}^{k+1}$ . Les revenus et les coûts encourus durant la période  $t$  sont actualisés au présent par le facteur d'actualisation  $\beta_t$ , où  $\beta_t < 1$  pour tout  $t$ .

À partir de ce problème trois extensions sont proposées. Premièrement, le nouveau modèle intègre les coûts environnementaux. Deuxièmement, il permet la possibilité d'intégrer des sanctions et des récompenses liées à la conformité. Troisièmement, l'action optimale est déterminée pour plusieurs périodes en résolvant le problème sur une base continue. Pour avoir les détails de ces extensions, voir (Sloan, 2011).

*Modèle de (Goghrod, Martel et Aouni, 2001).*

Les auteurs proposent une approche multicritère pour la gestion du parc au sein du Ministère de Transport du Québec (MTQ) avec l'intégration des préférences explicites du gestionnaire pour décider pour chaque véhicule ou équipement de la flotte soit, de continuer à l'entretenir, de le vendre tout simplement, ou le vendre et le remplacer. Plusieurs contraintes telles que la réduction de la flotte de 20 %, le respect du budget, les besoins des

clients ou encore le maintien d'un certain rajeunissement de la flotte sont considérées pour la prise de décision (Goghrod, Martel et Aouni, 2001).

Un des points forts de ce modèle est sa flexibilité et son adaptation à toute nouvelle donnée ou politique que les gestionnaires voudront se donner, comme par exemple, un changement de budget. À l'aide de simulations, ils ont fait d'autres remarques utiles pour les gestionnaires, comme la possibilité de contrôler le pourcentage de renouvellement de la flotte en fonction du budget. Avec ce modèle les gestionnaires peuvent définir leur nouvelle flotte et tester des éléments nouveaux pour des considérations futures.

*Modèle mis en pratique par Mercury Associates, Inc.*

(Lauria, 2007) Mercury Associates, Inc. groupe conseil suggère une méthode de pointage pour sélectionner les véhicules à remplacer. La méthode utilise plusieurs critères pour faire l'analyse dont l'âge des véhicules, le kilométrage parcouru par heure, le type de service rendu, la fiabilité, les coûts de maintenance et de réparation et la condition des véhicules. Chacun des critères est divisé en degrés pour donner le pointage approprié, ce qui est illustré au tableau 2.3 (Lauria, 2007).

FACTEUR	POINTS
Age	Un point pour chaque année de service
Milles/heure	Un point pour chaque 10 000 milles d'usage
Type de service	1, 3, ou 5 points sont alloués basés sur le type de service rendu. Par exemple, pour une patrouille de police on peut donner 1 point.
Fiabilité	Les points sont alloués comme 1, 3 ou 5 dépendamment de la fréquence de visites du véhicule à l'atelier pour réparation. 5 points peuvent être assignés au véhicule qui va à l'atelier 2 fois ou plus en moyen par mois.
Coût de maintenance et réparation	1 à 5 points sont assignés en tenant compte le total de coûts de maintenance et réparation (sans inclure les coûts de réparation liés aux accidents). 5 est assigné au véhicule avec coûts de réparation égal ou supérieur au prix d'achat original du véhicule.
Condition	Cette catégorie prend en considération la condition du corps, la condition de l'intérieur, l'histoire d'accidents, les réparations anticipées, etc. Une échelle de 1 à 5 points est utilisée avec 5 pour une pauvre condition.

Tableau 2. 3: Définition de facteurs et leurs pointages (Lauria, 2007).

Finalement, comme présenté dans le tableau 2.4 (Lauria, 2007), ils ont élaboré une grille pour qualifier le pointage total obtenu (Lauria, 2007) :

RANGE DE POINTS	CONDITION	QUALIFICATION POUR REMPLACEMENT
Moins de 18 points	1	Excellent
18-22 points	2	Bon
23-27 points	3	Qualifié pour remplacement
Plus de 27 points	4	Nécessite immédiate considération

Tableau 2. 4 : Grille pour évaluer le besoin de remplacement.

*Modèle mis en pratique par la ville de Montauban*

L'exemple de la communauté d'agglomération de Montauban, Trois Rivières, (Lorenzi, 2006) a établi autant des critères économiques que des critères environnementaux pour faire le choix des véhicules à remplacer. Les deux critères les plus importants sont le coût annuel de la flotte par type de véhicule et les émissions de gaz à effet de serre. Il aboutit dans un classement prioritaire en fonction de l'impact environnemental et économique. Il a ensuite réalisé le croisement des différents classements pour déterminer les véhicules à changer. Le résultat final constitue un tableau classant par ordre de priorité les véhicules candidats. Ils font aussi l'analyse de trois scénarios pour le renouvellement du parc. Ils font l'évaluation de véhicules alternatifs en tenant compte des critères tels que le prix d'achat, le coût d'entretien, les types de motorisations, les émissions de CO<sub>2</sub> et autres polluants.

### **2.2.3. Commentaires et discussion des modèles**

Cette section consiste à une comparaison basée sur les points saillants des modèles afin d'identifier les avantages et les inconvénients de leurs mise en application.

Dans la plupart des modèles trouvés dans la littérature, les critères de remplacement réfèrent principalement aux critères à caractère économique, très peu d'entre eux utilisent des critères environnementaux et des critères technologiques. Dans cette revue seulement deux modèles tiennent compte de ce type de critères ; l'un conçu pour l'incorporation des facteurs environnementaux dans les décisions de remplacement d'équipement sous changement technologique (Sloan, 2011) et l'autre mis en pratique par la ville de Montauban (Lorenzi, 2006).

Pour les flottes dont les critères économiques déterminent la décision, le modèle de Kriett (2009) et celui de Drinkwater et Hastings (1967) sont conseillés. D'ailleurs, ce dernier montre que le critère de la limite des coûts de réparation a des avantages par rapport au critère de la limite de durée de vie. Par contre, si les critères technologiques influencent la décision, il serait convenable d'appliquer le modèle proposé dans l'étude, menée par Nair et Hopp (1992), puisqu'il tient compte des critères technologiques comme la nature de la technologie, des alternatives de remplacement disponibles et de la possibilité de futurs progrès technologiques.

Si les gestionnaires de flotte ont besoin d'un modèle d'application facile pour la sélection de véhicules à changer, Mercury Associates, Inc. groupe conseil (Lauria, 2007) suggère une méthode de pointage. Pour l'analyse, cette méthode utilise des critères principalement économiques dont l'âge des véhicules, le kilométrage parcouru par heure, le type de service rendu, la fiabilité, les coûts de maintenance et de réparation, et la condition des véhicules comme un critère qui dépend de la subjectivité de l'évaluateur.

Le modèle de la communauté d'agglomération de Montauban, Trois Rivières, (Lorenzi, 2006) a établi autant des critères économiques que des critères environnementaux pour faire le choix des véhicules à remplacer. Les deux critères les plus importants sont le coût annuel de la flotte par type de véhicule et les émissions de gaz à effet de serre. En plus de déterminer les véhicules à changer dans un ordre de priorité, ce modèle a le mérite d'établir les stratégies de remplacement après une analyse de différents scénarios de renouvellement.

Pour obtenir un équilibre des facteurs économiques et environnementaux dans un contexte de changement technologique lors de la prise de décision concernant le renouvellement d'équipement, le modèle de Sloan (2011) est approprié. Il donne des pistes aux décideurs pour la mise en œuvre de mécanismes qui peuvent encourager et maintenir un comportement écologiquement responsable.

Plusieurs approches de modélisation peuvent être considérées pour une flotte composée de différents types de véhicules. Le modèle de Dietz et Katz (2001) pourrait être appliqué aux flottes diversifiées, y compris des entreprises de logistique, de transport, des organismes de service public (comme la police et l'assainissement) et de télécommunications. En général, pour un horizon de planification finie, ce modèle peut être utilisé par les gestionnaires familiers avec la programmation linéaire ou dynamique et pour un horizon de planification infinie, il peut être utilisé comme un modèle de décision de Markov.

Un modèle particulièrement utile lorsque les préférences explicites du gestionnaire doivent faire partie de la décision est l'approche multicritère élaboré par Goghrod, Martel et Aouni (2001). Ce modèle est caractérisé par sa flexibilité et son adaptation à toute nouvelle décision ou politique des gestionnaires et intègre des contraintes telles que le pourcentage

de réduction ou de rajeunissement de la flotte, le respect du budget ou encore les besoins des clients.

Quelques inconvénients ressortent de cette revue pour la mise en application de certains modèles et réfèrent notamment aux hypothèses faites. Par exemple, la taille de la flotte utilisée dans le modèle de simulation proposé par Kriett (2009) reste constante au fil du temps, alors que ce n'est pas nécessairement le cas. Le modèle de Nair et Hopp (1992) suppose que seulement une nouvelle technologie peut apparaître dans l'avenir, en plus de la technologie déjà disponible sur le marché au moment actuel. Cette restriction ne tient pas compte que d'autres améliorations de la technologie pourraient se produire dans l'avenir et que ces améliorations peuvent avoir une incidence sur la décision actuelle.

Un sommaire des modèles, du remplacement de l'équipement, étudiés peut être trouvé dans les tableaux 2.5, 2.6 et 2.7. Les modèles basés sur des critères économiques sont présentés au tableau 2.5, tandis que ceux basés sur des critères économiques et technologiques sont présentés au tableau 2.6. Le tableau 2.7 montre les modèles basés sur des critères diversifiés. Ces tableaux mettent l'accent sur les objectifs du modèle, le type de flotte pour lequel le modèle a été proposé, la méthode utilisée ainsi que les critères de remplacement qui ont été à la base de la décision de renouvellement.

Source	Drinkwater, R.W. and Hastings, N.A.J. (1967): An economic replacement model	Kriett, P. (2009); Equipment replacement prioritization measures: simulation and testing for a vehicle fleet
Objectif	Trouver la limite du coût de réparation optimale.	Évaluer et sélectionner des mesures des priorités de minimisation des coûts de remplacement, et de justifier sa relative efficacité à d'autres mesures avec des données et du raisonnement scientifique
Type de flotte	Flotte de l'armée, véhicules non blindés	Équipement et flotte du Département de Transport d'Oregon (ODOT)
Modèle utilisé	Programmation dynamique et simulation de Monte Carlo	Simulation
Critère de remplacement	Coût de réparation	coût de durée de vie et des données d'utilisation



Tableau 2. 5 : Sommaire de modèles de remplacement d'équipement particulièrement utilisés. Modèles basés sur des critères économiques.

Source	Roads & Fleet Committee Report Narrabri Shire Council (2011); Asset Management plan	Dietz, D et Katz, P. (2001); US WEST Implements a Cogent Analytical Model for Optimal Vehicle Replacement	Suresh K. Nair, Wallace J. Hopp (1992); A model for equipment replacement due to technological obsolescence
Objectif	Identifier les actifs nécessitant un renouvellement en ayant comme critère fondamental les estimations de durée de vie restante obtenues à partir des feuilles de registre des actifs.	Trouver les politiques de remplacement optimal	Traiter le problème de décider entre conserver un équipement ou le remplacer par une technologie plus avancée qui est disponible dans le marché.
Flotte	Flotte diversifiée de la ville de Narrabri (Australie)	une flotte diversifiée de véhicules pour les télécommunications	Équipement général
Modèle	Modèle analytique	Modèle analytique	Processus infini de décision de Markov avec un horizon non stationnaire
Critère de remplacement	Estimations de durée de vie résiduelle	coûts de maintenance, d'opportunité de temps d'arrêt, amortissements, valeur de récupération et coût de remplacement	Coûts et prévisions technologiques, recettes et valeur de récupération

Tableau 2. 6 : Sommaire de modèles de remplacement d'équipement particulièrement utilisés. Modèles basés sur des critères économiques et technologiques.

Source	Objectif	Type de flotte	Modèle	Critères de remplacement
Lorenzi, P. (2006) ; Diagnostic de flotte automobile : l'exemple de la communauté d'agglomération de Montauban Trois Rivières	Proposer une nouvelle politique de renouvellement du parc. Classer par ordre de priorité les véhicules à changer	Flotte de véhicules diversifiée ville Montauban	Diagnostic et analyse économique et environnementale	âge, coût du carburant, de l'entretien et des assurances, type de motorisation et de carburant utilisé
Modèle mis en pratique par Mercury Associates, Inc.	Décider pour chaque unité de la flotte soit de continuer à l'entretenir, la vendre tout simplement, ou la vendre et la remplacer	Flotte non spécifiée	Modèle analytique	âge, milles parcourues, type de service rendu, fiabilité, condition des véhicules et coûts de maintenance et réparation
Goghrod, H. et al (2001). Une approche multicritère pour la gestion d'un parc de matériel roulant	Décider pour chaque véhicule ou équipement soit de continuer à l'entretenir, le vendre tout simplement, ou le vendre et le remplacer.	Flotte de véhicules diversifiée, gouvernement du Québec	Programmation mathématique à objectifs multiples avec l'intégration des préférences du gestionnaire	respect du budget, besoins des clients et niveau de satisfaction du gestionnaire
Thomas W. Sloan. (2011); Green renewal: incorporating environmental factors in equipment replacement decisions under technological change.	Examiner l'impact des facteurs environnementaux sur les décisions de remplacement du matériel dans le contexte de l'évolution technologique.	Non spécifié	Le problème est modélisé en utilisant une variation du cadre de décision markovien	critères financiers, environnementaux et réglementaires.

Tableau 2. 7 : Sommaire de modèles de remplacement d'équipement particulièrement utilisés. Modèles axés sur de critères diversifiés.

Lors de la création du modèle de remplacement des véhicules d'une entreprise, il est souhaitable de concevoir un modèle simple et de facile application qui peut être utilisé pour l'évaluation rapide. Selon les modèles étudiés, on peut constater que les modèles de programmation mathématique avancée tels que la programmation dynamique ne sont pas nécessairement le meilleur choix du point de vue pratique. Il est également un fait que cela peut facilement être automatisé dans un simple outil informatique comme Excel et devenir une application pratique de probabilités et de statistique.

En somme, le modèle de renouvellement devrait être tel qu'il donne une politique de remplacement optimale dans un cadre de la gestion efficace d'une flotte. La plupart des recherches discutées dans le présent mémoire mettent en évidence le besoin de considérer des variables pas seulement économiques, mais aussi technologiques, environnementales, ce qui semble être une bonne option pour les modèles. Une analyse sur la justesse de la méthode multicritère comme modèle qui répond à ces caractéristiques est présentée dans la section suivante.

### **2.3. La méthode multicritère**

Tel que vu dans la section 2.2.2, dans les décisions de remplacement définitif, les gestionnaires peuvent tenir compte d'un ensemble de critères non seulement économiques mais aussi technologiques, environnementaux ou encore sociaux. Certains de ces critères peuvent être facilement quantifiables tandis que d'autres ne le seront pas nécessairement. Pour cette raison, l'avis de (Dietz et Katz, 2001) pour qui les décisions définitives de renouvellement doivent également pondérer les facteurs subjectifs, comme la sécurité, le confort du conducteur, le moral et l'image présentée aux clients, est pertinent. Ainsi, il est important d'avoir une méthode qui permet d'évaluer de manière efficace les critères qualitatifs.

### 2.3.1. Arguments qui favorisent l'utilisation d'une méthode multicritère

Pour la majorité des modèles de remplacement existants, la prise de décision est généralement fondée sur un critère, souvent économique, à l'exclusion d'autres variables de type environnemental, technologique ou tout simplement non quantifiables, qui décrivent le comportement réel de l'équipement. Il y a plusieurs raisons appuyant l'utilisation d'une méthode multicritère. Sarache *et al.* (2009), et (Mena, 2000) justifient le choix d'une méthode multicritère :

- Toute la réalité humaine est "à points de vue multiples" ou multicritère. Pour l'exemple concret d'un service public où il y a multiplicité des critères et multiplicité des intervenants ; ce sont deux phénomènes qui, non seulement se superposent, mais ils se multiplient.
- Certains critères sont difficiles à quantifier. Par exemple, lors de l'achat d'un nouveau véhicule le propriétaire désire certaines qualités pour sa voiture, telles qu'entre autres le confort, la sécurité et le caractère sportif. Ces différentes qualités ne sont pas traduisibles en coûts car ils n'ont pas de cours ni dans l'économie ni dans la tête de l'individu. Cela montre la nécessité d'utiliser des méthodes capables de tenir compte de plusieurs critères qui ne sont pas nécessairement quantifiables.
- Certains critères peuvent être contradictoires. Par exemple, lors de l'achat d'une voiture, les critères possibles dont le coût à l'achat, l'économie à l'usage, le confort, la sportivité et la sécurité, peuvent être contradictoires. Il faut donc rechercher des méthodes qui puissent intégrer les conflits qui apparaîtront entre les différents critères pris en considération.
- Certains problèmes sont traités par l'optimisation car ils semblent pouvoir être isolés de leur contexte. À ce sujet (Mena, 2000) a écrit : «*Cette apparente appartenance au domaine de réussite de la recherche opérationnelle est parfois la cause de cuisants échecs. C'est là un argument de plus pour les méthodes multicritères*».

- Les modèles basés de façon exclusive sur un critère ne permettent pas de parvenir à une vision réaliste et holistique des conditions d'exploitation des équipements. Sarache *et al*, (2009) considèrent qu'il est possible de remédier à cette situation en utilisant des techniques multicritères pour tenir compte d'un ensemble de critères importants afin d'établir le moment adéquat de remplacement de l'équipement.

Une approche multicritère est particulièrement utile lorsque l'établissement des priorités de remplacement est basé sur les niveaux de financement alternatifs ou en présence de contraintes de financement, ce qui donne lieu à plusieurs critères de décision. Il faut cependant remarquer le fait que toutes les méthodes ne sont pas aisément adaptables à toutes les situations.

### **2.3.2. L'analyse multicritère**

Afin de développer une analyse multicritères, il est nécessaire d'appliquer une procédure adéquate. La figure 2.4, Sarache *et al*, (2009), montre une procédure pouvant être utilisée pour une grande variété de modèles, mais elle peut bien s'appliquer à l'analyse multicritère.

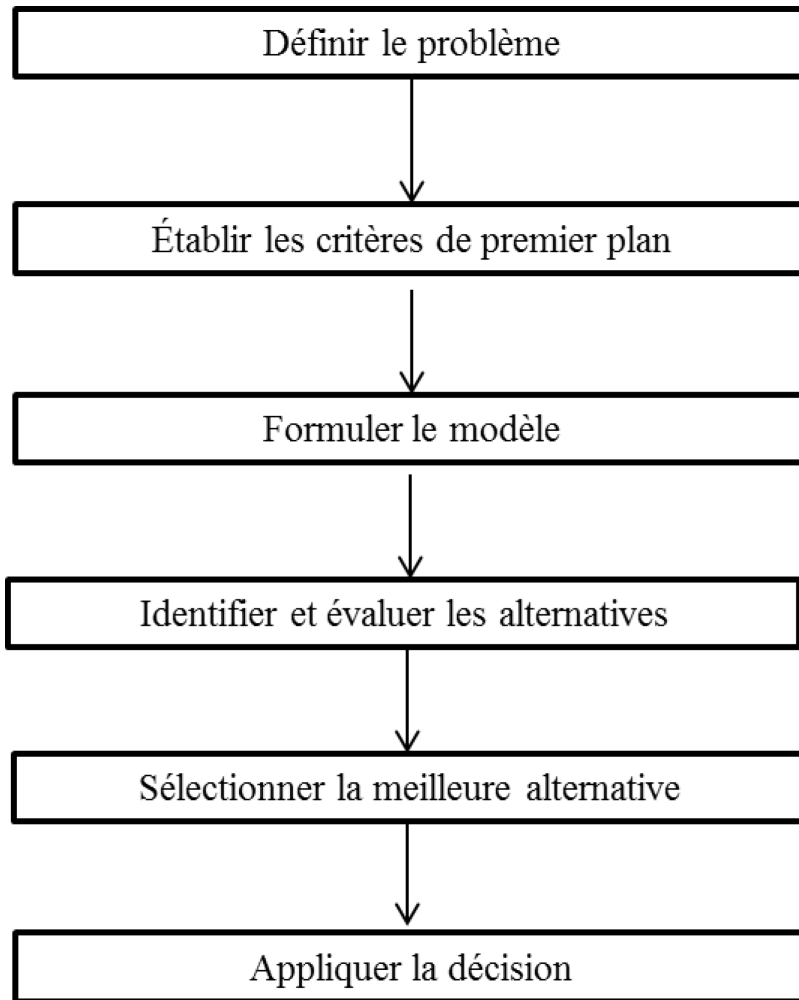


Figure 2. 4 : Procédure générale utile pour l'analyse multicritère.

#### **2.3.2.1. Procédure générale pour la construction de l'indicateur intégral de remplacement (IIF)**

L'indicateur de remplacement intégré (IIF) a été proposé par Sarache *et al.* (2009) et est un outil de décision qui permet de regrouper un ensemble de fonctions pondérées, normalisées et homogénéisées qui représentent le comportement des critères liés au temps. Cet indicateur permet la mise en place du temps de remplacement des équipements en termes technologiques et économiques, en fonction de divers critères importants. Sarache *et al.* (2009) ont proposé une série d'étapes pour la construction d'un indicateur intégral de remplacement. Ces étapes sont montrées dans la Figure 2.5.

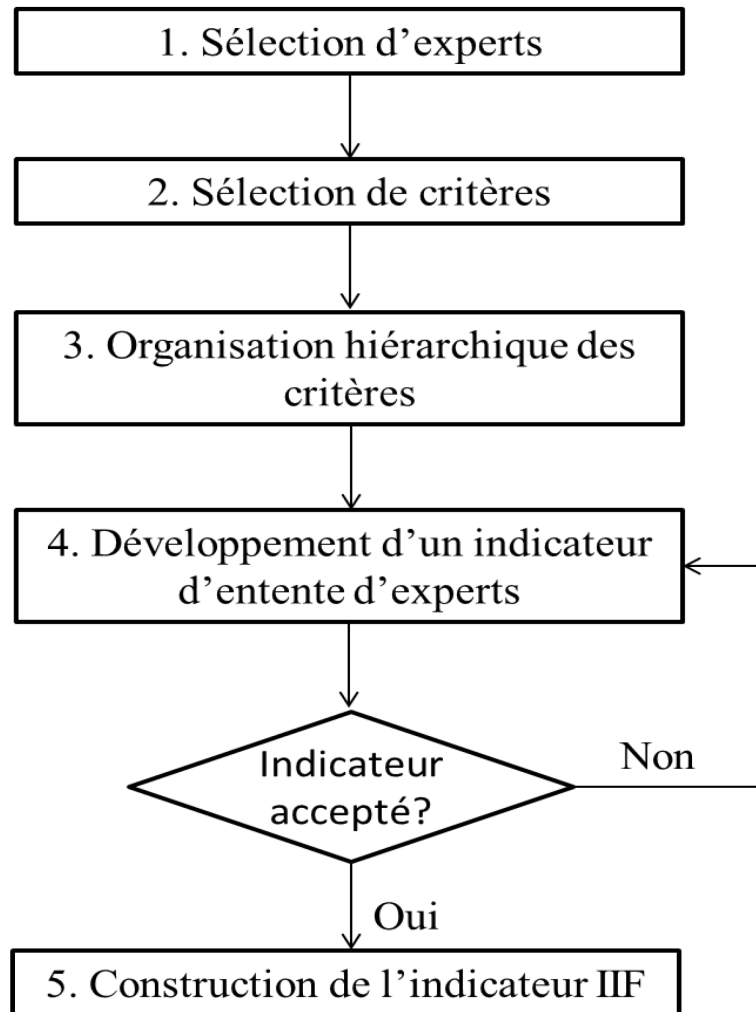


Figure 2. 5: Procédure générale pour la construction de l'indicateur IIF.

### *Sélection d'experts*

Le nombre d'experts doit être calculé à l'aide de l'équation 2.1. Cette expression a été calculée en utilisant une équation mathématique basée sur la méthode probabiliste qui suppose une loi de probabilité binomiale :

$$m = \frac{p(1-p)k}{i^2} \quad (2.8)$$

Où :  $m$  : Nombre d'experts,

$p$  : Pourcentage d'erreur toléré,

$k$  : Valeur constante qui dépend du niveau de confiance,

$i$  : niveau de précision.

### *Sélection de critères*

Pour déterminer le groupe des critères qui sont importants dans l'indicateur, il est nécessaire de développer des sessions successives de travail en tenant compte des principes d'importance, la redondance et la pertinence, jusqu'à un consensus sur la liste des critères importants.

### *Organisation hiérarchique des critères*

En règle générale, les critères importants présentent différents niveaux d'importance dans la décision ; cette situation oblige l'établissement d'une organisation hiérarchique des critères en fonction du type de décision, en utilisant un processus de pondération (Sarache *et al.* 2009).

L'organisation hiérarchique des critères peut être faite par diverses méthodes. Ici, il est conseillé d'utiliser la méthode hiérarchique proposée par (Saaty, 2008). Cette méthode est décrite plus en détail dans la section 2.2.3.

### *Développement d'un indicateur d'entente entre les experts*

Sarache *et al.* (2009) soulignent l'importance de contrôler le degré d'accord entre les experts en raison de son impact sur des résultats fiables. Afin d'établir ce niveau d'entente dans l'organisation hiérarchique des critères, il est nécessaire d'appliquer l'indicateur Accord Kendall (W), à l'aide de l'équation 2.2 :

$$W = \frac{12 \sum D^2}{M^2(C^3 - C)} \quad (2.9)$$

W : Indicateur d'accord Kendall,

M : Nombre d'experts,

C : Nombre des critères



D : valeur de l'écart moyen des jugements émis. (Différences Moyennes en valeurs absolues des moyennes)

#### 2.3.2.2.1. Construction de l'indicateur IIF

L'objectif de cet indicateur est d'obtenir une vision complète du comportement de l'équipement au cours de son cycle de vie prévue. L'indicateur IIF intègre tous les critères dans une seule fonction mathématique, qui permet l'établissement d'un moment approprié pour le renouvellement de l'équipement.

De même, pour chaque critère, il est nécessaire de créer une fonction mathématique qui décrit son comportement dans le temps.

Cette fonction peut provenir des estimations primaires ou bien il peut être créé à partir de l'analyse des données historiques de régression, complétées par des projections des experts.

Par exemple : Pour chacun des critères établis on détermine une fonction  $F_i$  qui décrit le comportement du critère  $i$  durant le temps  $t$

Les critères sont :

$C = F1(t)$  : Coût de la maintenance

$E = F2(t)$  : L'efficacité de l'équipement

$Q = F3(t)$  : La qualité du produit traité par l'équipement

$O = F4(t)$  : L'obsolescence de l'équipement

Le but est de trouver le meilleur moment du renouvellement qui permet d'optimiser l'équation 2.10 :

$$IIR = W_1 \frac{F_1(t) - Z_{1MIN}}{R_1} + W_2 \frac{F_2(t) - Z_{2MIN}}{R_2} + W_3 \frac{F_3(t) - Z_{3MIN}}{R_3} + W_4 \frac{F_4(t) - Z_{4MIN}}{R_4} \quad (2.10)$$

Où :

$W_i$  : Poids du critère  $i$ . ( $i = 1, 2, 3, 4$ )

$R_i$  : Différence entre le «point non- idéal» et le «point idéal» dans la fonction mathématique associée au critère  $i$ .

$Z_i \min$  : Valeur minimale de la fonction mathématique associée au critère  $i$ .

Le «point idéal» de la fonction objectif est représenté par  $Z^*$ . Au contraire, le point "non-idéal" est le point le plus éloigné de la valeur optimale et sa représentation est  $Y$ .

La figure 2.6 montre les valeurs  $Z_i \min$  et la valeur  $Z^*$  de la fonction objectif :

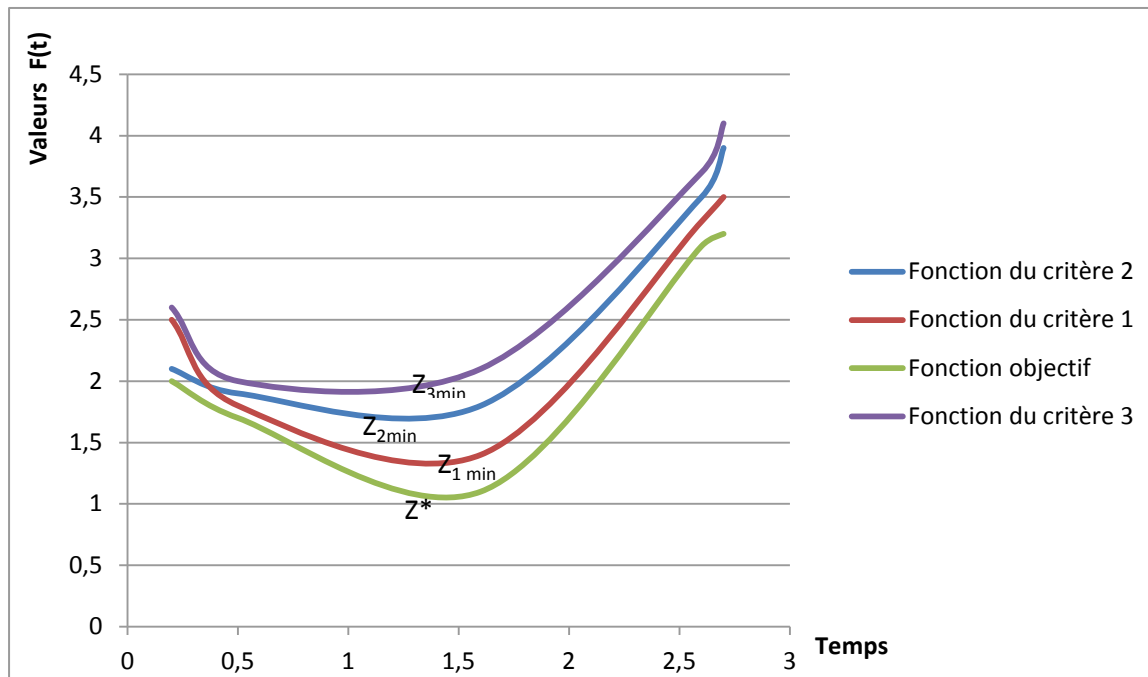


Figure 2. 6 : Valeurs  $Z_i \min$  et la valeur  $Z^*$  de la fonction objectif.

La façon de normaliser et d'homogénéiser les fonctions qui composent le IIR c'est d'inclure  $R_i$  et  $Z_i \min$  dans l'indicateur IIR. Cet indicateur est une fonction mathématique non linéaire qui doit être minimisée, en tenant compte du fait que deux critères doivent être réduits au minimum ( $F1(t)$ ,  $F4(t)$ ), les autres critères peuvent être minimisés ou maximisés; ce problème est résolu en effectuant les changements dans la formule précédente.

Pour le cas présent, la fonction objectif (IIF) est définie par la moyenne des fonctions dépendantes du temps. En conséquence, le modèle mathématique complet est le suivant :

Minimiser :

$$IIR = W_1 \frac{F_1(t) - Z_{1Min}}{Y_1 - Z_{1*}} + W_2 \frac{F_2(t) - Z_{2Min}}{Y_2 - Z_{2*}} + W_3 \frac{F_3(t) - Z_{3Min}}{Y_3 - Z_{3*}} + W_4 \frac{F_4(t) - Z_{4Min}}{Y_4 - Z_{4*}} \quad (2.11)$$

Sous les contraintes de :  $t \leq P$  et  $t \geq 0$ , où  $P$  est le cycle de vie prévu par le fournisseur de l'équipement.

De cette façon, il est possible de trouver le moment optimal de remplacement en tenant compte des critères économiques, technologiques, environnementaux ainsi que d'autres critères à caractère qualitatif.

Il nous reste à voir en détail la procédure pour faire le classement hiérarchique des critères. Étant donné l'importance que la méthode hiérarchique multicritère (MHM) proposée par Saaty (2008) revêt comme modèle pour déterminer les candidats au remplacement, elle sera étudiée dans une section à part.

### **2.3.3. La méthode hiérarchique multicritère**

Nous prenons la méthode hiérarchique multicritère (MHM) proposée par Saaty (2008) pour évaluer les facteurs qualitatifs de telle sorte que les préférences explicites du gestionnaire soient prises en considération.

Cette méthode a été critiquée à cause du caractère subjectif dans la comparaison de critères, parce qu'elle dépend de l'expérience et le jugement du gestionnaire. Malgré cela, elle peut bien se jumeler aisément aux méthodes classiques qui tiennent compte presque de façon exclusive des critères quantifiables tels que les facteurs économiques. Elle permet de structurer tous les aspects qualitatifs du problème en tenant compte des priorités accordées par le gestionnaire selon son expérience et son bon jugement. L'interaction de différents facteurs permet aux décideurs de les disposer dans une structure hiérarchique et par le même fait, de classer qualitativement les véhicules candidats au remplacement. Dans la structure hiérarchique, les actions sont placées au dernier niveau de la hiérarchie, mais elles sont traitées exactement comme les éléments des autres niveaux à travers des comparaisons par paire (Martel, 1999).

Grand nombre de méthodes multicritères s'appuient sur cette affirmation et comportent plusieurs étapes. C'est le cas pour la méthode (MHM). Si l'ensemble des actions est implicite et défini par un ensemble de contraintes explicites, la méthode multicritère est généralement résolue à partir de la programmation mathématique à objectifs multiples (PMOM). Une partie importante de ce type de travaux cherche à déterminer l'ensemble efficace d'actions. La détermination de cet ensemble ne fait pas intervenir les préférences du décideur, n'apporte pas une réponse définitive au problème de décision et n'est pas nécessairement une étape obligée (Martel, 1999), tandis que la méthode (MHM) tient compte des préférences explicites du gestionnaire.

#### **2.3.3.1. Comment structurer un problème de décision**

Le premier pas dans la construction de la structure hiérarchique consiste à sélectionner les critères ou facteurs qui jouent un rôle dans la décision. C'est peut-être, selon Saaty (1990), la tâche la plus créative lors de la prise de décision. Une fois sélectionnés ces facteurs, ils sont organisés dans une structure hiérarchique décroissant à partir d'un objectif global de critères, sous-critères et de solutions de rechange à des niveaux successifs. Lors de la construction des hiérarchies, il faut inclure suffisamment de détails qui permettent de représenter le problème de manière aussi approfondie que possible, tenir compte de l'environnement qui entoure le problème et cerner les enjeux ou les attributs qui contribuent à la solution ainsi qu'identifier les participants associés au problème. Les décisions sont prises à travers un processus organisé en étapes et en tenant compte des priorités. Nous allons les voir dans la section suivante.

#### **2.3.3.2. Processus de décision**

Selon (Saaty, 2008) les étapes durant le processus de décision sont :

1. Définir le problème et déterminer le type de connaissances recherchées, par exemple le problème de trouver les véhicules candidats au remplacement.
2. Construire une hiérarchie de décision du haut vers le bas, c'est-à-dire dès l'objectif de décision, puis les objectifs à partir d'une perspective plus large, à travers les niveaux intermédiaires ou critères desquels les éléments subséquents dépendent jusqu'au plus bas

niveau qui est généralement un ensemble de solutions de remplacement, comme le montre l'exemple de la Figure 2.7.

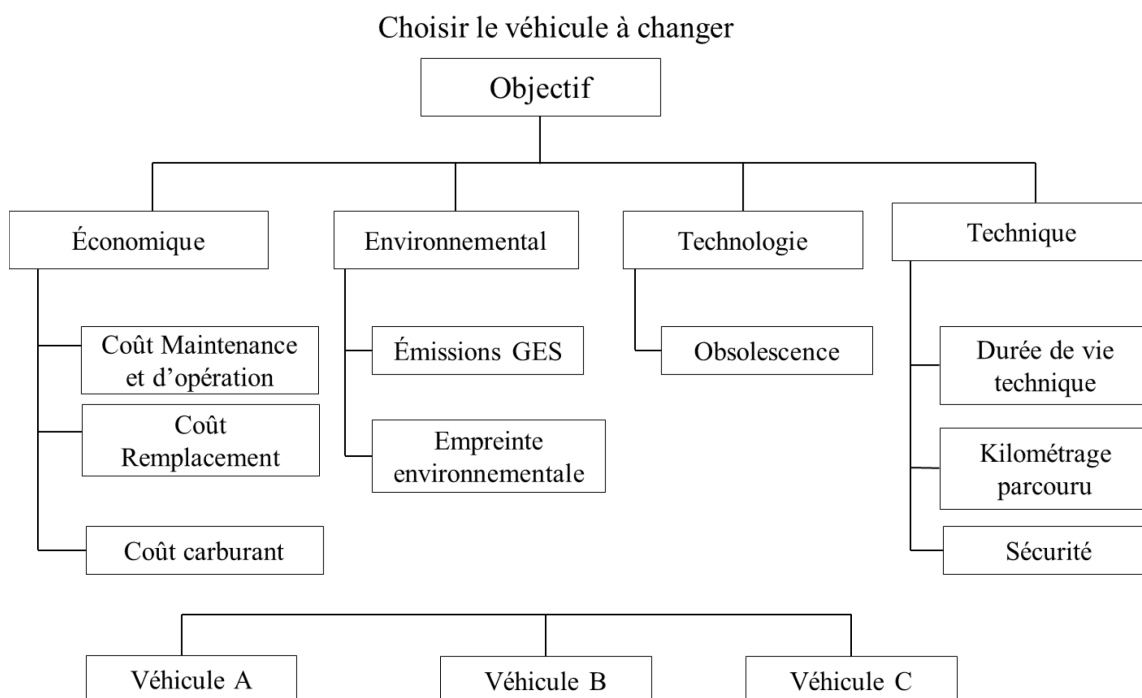


Figure 2. 7 : Exemple d'analyse hiérarchique pour le meilleur choix de véhicule à changer.

3. Construire une échelle de nombres pour effectuer des comparaisons. Cette échelle indique combien de fois un seul élément important ou dominant est au-dessus d'un autre élément en ce qui concerne le critère ou la propriété à l'égard de laquelle ils sont comparés. Le Tableau 2.8 (Saaty, 2008) montre cette échelle ainsi que son ampleur.

INTENSITÉ D'IMPORTANCE	DÉFINITION	EXPLICATION
1	Importance égale	Deux activités contribuent également à l'objectif
2	Faible ou légère	
3	Importance modérée	Expérience et jugement d'une activité légèrement en faveur sur une autre

4	Importance moyenne plus	
5	Importance forte	Expérience et jugement d'une activité fortement en faveur sur une autre
6	Importance forte plus	
7	Très forte ou importance démontrée	Une activité est favorisée très fortement par rapport à une autre; sa prédominance est démontrée dans la pratique
8	Importance très, très forte	
9	Extrême importance	Les preuves en faveur d'une activité sur un autre est de l'ordre le plus élevé possible de l'affirmation
Réciproques des dessus	Si l'activité $i$ est l'un des chiffres précédents lorsqu'elle est comparée à l'activité $j$ , alors $j$ est la valeur réciproque par rapport à $i$	Une hypothèse raisonnable
1.1-1.9	Si les activités sont très proches	Il peut être difficile d'attribuer la meilleure valeur, mais en comparaison avec d'autres activités contrastées l'importance des petits nombres ne serait pas trop sensible, mais ils peuvent encore indiquer l'importance relative des activités.

Tableau 2. 8 : Échelle de base pour les comparaisons.

4. Construire un ensemble de matrices de comparaison par paires. Chaque élément dans un niveau supérieur est utilisé pour comparer les éléments dans le niveau immédiatement inférieur par rapport à lui. On compare un élément indiqué sur la gauche avec un autre indiqué en haut et on répond à la question : Combien de fois plus, ou comment fortement plus, c'est que l'élément de la gauche est que celui en haut. La matrice de comparaison peut avoir la forme du Tableau 2.9 (Saaty, 2008).

On inscrit alors le nombre de l'échelle mentionnée ci-dessus qui est appropriée pour le jugement. On inscrit toujours le nombre entier dans sa position appropriée et passe automatiquement sa réciproque dans la position de transposition.

	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3	...	Facteur n
Facteur 1	1	8	4		2
Facteur 2	1/8	1	1/2		1/8
Facteur 3	1/4	2	1		1/3
....					
Facteur n	1/2	8	3		1

Tableau 2. 9 : Matrice de comparaison.

5. Obtenir les priorités, (obtenues sous forme exacte en augmentant la matrice pour les grandes puissances en additionnant chaque rangée et divisant chacune par la somme totale de toutes les lignes, ou approximativement, en ajoutant chaque rangée de la matrice et en divisant par leur total).

6. Utiliser les priorités obtenues à partir des comparaisons pour peser les priorités dans le niveau inférieur suivant. Effectuer cette opération pour chaque élément. Ensuite, pour chaque élément du niveau d'en dessous, ajouter les valeurs pesées et obtenir sa priorité globale ou générale.

Continuer ce processus de pondération et d'ajout jusqu'à ce que les priorités finales des alternatives du plus bas niveau soient obtenues.

Après avoir obtenu le classement hiérarchique des critères, il est nécessaire de continuer la procédure générale pour la construction de l'indicateur intégral de remplacement (IIF) de la section 2.3.3.2 en allant à l'étape de développement d'un indicateur d'entente entre les experts.

Il reste à remarquer l'utilité d'une méthode analytique multicritère non seulement pour déterminer les véhicules candidats à changer, mais aussi pour faire la sélection des nouveaux véhicules, autrement appelés alternatives de remplacement. C'est le sujet à traiter dans le chapitre suivant.



### **3. La sélection de nouveaux véhicules**

La sélection de nouveaux véhicules fait référence au processus de prise de décisions lors du choix d'un véhicule pour une tâche donnée. Cette étape nécessite l'établissement de critères adéquats pour définir la stratégie qui correspond le mieux aux besoins réels et se réalise une fois les véhicules à mettre au rancart ont été choisis. Le gestionnaire doit décider par quel type les remplacer afin d'atteindre des objectifs clairs et prédéterminés dans le plan de renouvellement.

Au fil des années, le nombre de modèles, de marques et de types de véhicules a augmenté de façon importante et continuera d'augmenter. Les nouveaux types de véhicules mis sur le marché continueront à gagner en complexité par l'introduction de nouvelles technologies, telles que les nouveaux systèmes d'exploitation, ainsi que par l'utilisation croissante d'autres types de sources d'énergie.

Avec ce boom technologique et le besoin grandissant de protection de l'environnement, les gestionnaires doivent envisager l'acquisition des nouveaux véhicules d'une catégorie qui vise non seulement à satisfaire aux exigences opérationnelles et à la minimisation des coûts, mais aussi d'une catégorie qui diminue son impact sur l'environnement tout en tirant profit des dernières technologies. Donc, pour prendre ces décisions, les gestionnaires doivent suivre un processus de sélection des véhicules rigoureux et efficace lorsqu'il est nécessaire de choisir un nouveau véhicule.

Ce chapitre se divise en trois sections. Compte tenu l'importance qui revête la détermination des facteurs durant la sélection de véhicules, ils seront présentés dans une première section. La deuxième partie décrit les étapes nécessaires à la sélection de nouveaux véhicules pour permettre aux gestionnaires d'identifier ceux qui répondent le mieux aux besoins réels. La dernière section est consacrée à l'analyse et la comparaison de différentes alternatives de remplacement qui incluent les types de motorisation et de carburant. Cette analyse est faite dans le cadre d'un éventail d'options qui impliquent des

coûts économiques, des effets sur l'environnement et des conditions technologiques pour leurs mises en application.

### **3.1. Facteurs pour la sélection de nouveaux véhicules**

Choisir le véhicule est une décision qui n'est pas facile à cause des nombreuses possibilités qui s'offrent sur le marché dans un contexte de concurrence intense et de changements accélérés.

Les critères de sélection de véhicules doivent être établis en fonction des besoins de l'entreprise et peuvent varier selon le cas. Que ce soit la location ou l'acquisition des nouveaux véhicules, le gestionnaire doit choisir les véhicules parmi ceux offerts sur le marché, et ce, grâce à une analyse complète et détaillée pour la prise des décisions appropriées (Wafer, 1997).

Compte tenu de l'existence de multiples facteurs qui entourent la sélection de nouveaux véhicules, Wafer considère nécessaire d'inclure aussi bien des facteurs quantitatifs que des qualitatifs (Wafer, 1997). Les facteurs quantitatifs sont généralement, selon lui, de type économique ou financier, tandis que les facteurs qualitatifs incluent différentes caractéristiques difficilement quantifiables qui réfèrent, par exemple, au confort, à la sécurité des usagers, aux fonctionnalités, etc.

Outre les facteurs économiques considérés par Wafer dans son approche, il est nécessaire d'inclure les critères environnementaux étant donné les conditions difficiles actuelles en matière de réchauffement de la planète et les exigences particulières du gouvernement en matière de développement durable. De plus, l'existence sur le marché de nouveaux véhicules plus performants en termes technologiques, économiques et environnementaux, montre que ce sont des critères qu'il ne faut pas négliger.

Pour que les entreprises restent compétitives et augmentent considérablement ses parts de marchés, les gestionnaires de flottes doivent non seulement diminuer les coûts d'exploitation mais aussi présenter une offre compétitive à plus faible impact

environnemental. À cet effet, ils peuvent envisager la possibilité d'une flotte de véhicules plus durable.

Le choix du type de véhicule dépend des critères financiers, techniques, environnementaux ainsi que d'autres critères à caractère qualitatif, comme la disponibilité d'une infrastructure technologique appropriée dans la région où la flotte est opérée et le fait que tous les véhicules doivent être disponibles chez les concessionnaires locaux.

### **3.1.1. Facteurs financiers**

Il n'y a aucun doute sur la pertinence de considérer les facteurs financiers ou économiques pour réaliser une évaluation qui corresponde aux besoins réels. En fait, ce sont des facteurs qui ont été longtemps utilisés.

À la lumière des travaux de (Teclab, 2002), Irving *et al.* (2011), et (Hébert, 2008), les facteurs financiers qui peuvent entrer en considération pour faire l'évaluation des nouveaux véhicules ont été déterminés :

- Coût en capital (prix d'achat y compris les coûts sur la route).
- Les coûts d'opération (personnel, équipement, service public, énergie).
- L'amortissement vérifié selon les normes de l'industrie.
- Les coûts de carburant (évalué au coût par litre sur une base annuelle en kilométrage).
- Les coûts du service (entretien estimé annuel par un mécanicien autorisé et service à la clientèle).
- Les coûts de conversion, d'installation et d'infrastructure.

Outre les critères mentionnés précédemment, pour prendre des décisions au sujet des biens d'équipement, que ce soit pour le remplacement ou pour une nouvelle acquisition, il est pertinent de considérer aussi (Jardine, 2011) :

- Les coûts de logiciels (logiciel d'exploitation et d'entretien) ;
- Les coûts de test et soutien de l'équipement ;
- Les coûts de formation (Formation des opérateurs et la maintenance) ;
- Les coûts des données techniques ;
- Les coûts de soutien (pièces de rechange, des stocks, et le matériel de soutien) ;
- Les coûts d'élimination et remplacement de l'équipement ;

D'autres critères à considérer sont le nombre de paiements mensuels et le taux d'intérêt.

### **3.1.2. Facteurs techniques**

Pour déterminer les caractéristiques recherchées, différents facteurs techniques doivent être considérés (Wafer, 1997) :

- La fréquence d'utilisation du véhicule et la durée d'exploitation prévue.
- Les conditions et les lieux où le véhicule sera utilisé. Elles permettent d'identifier les propriétés voulues ainsi que les dimensions et les capacités physiques minimales selon les contraintes d'opération.
- Les caractéristiques spécifiques voulues.
- Les dimensions et les capacités physiques minimales nécessaires à la tâche du véhicule en termes de poids, de taille et de fonctions qu'il doit accomplir.

### **3.1.3. Facteurs environnementaux**

À l'échelle mondiale, de toute évidence, le transport affecte l'environnement de plusieurs façons. Les paramètres les plus importants, par exemple dans le contexte du transport interurbain de voyageurs, sont le bruit, le changement climatique et les gaz d'échappement tels que les oxydes d'azote ( $NO_x$ ), les oxydes de soufre ( $SO_x$ ) et les composés organiques volatils ( $COV$ ). L'occupation des sols, notamment les nuisances esthétiques et l'effet de barrière, peut aussi avoir leur importance (Kageson, 2009).

Tous ces impacts constituent une source de préoccupations tant pour les secteurs publics que pour les secteurs privés. Ceci constitue une justification pour tenir compte des facteurs

environnementaux lors de la prise de décisions relatives à la sélection de nouveaux véhicules.

Pour le cas concret du gouvernement du Québec, tous les moyens disponibles sont utilisés pour contribuer à limiter le plus possible le réchauffement climatique. Puisque les réductions d'émissions prévues selon le Protocole de Kyoto ne pourront pas ralentir suffisamment les changements climatiques, la mise en place de mesures d'adaptation efficaces s'avère incontournable pour la société québécoise (Gouvernement du Québec, 2008).

Selon le graphique sur la Figure 3.1, au Québec, le transport s'avère le secteur économique qui émet la plus grande proportion de gaz à effet de serre (GES), qui atteignent 38,7%. De cette quantité, 80 % proviennent directement du secteur des transports routiers tandis qu'un 20% provient du transport maritime et ferroviaire. (Gouvernement du Québec, 2008).

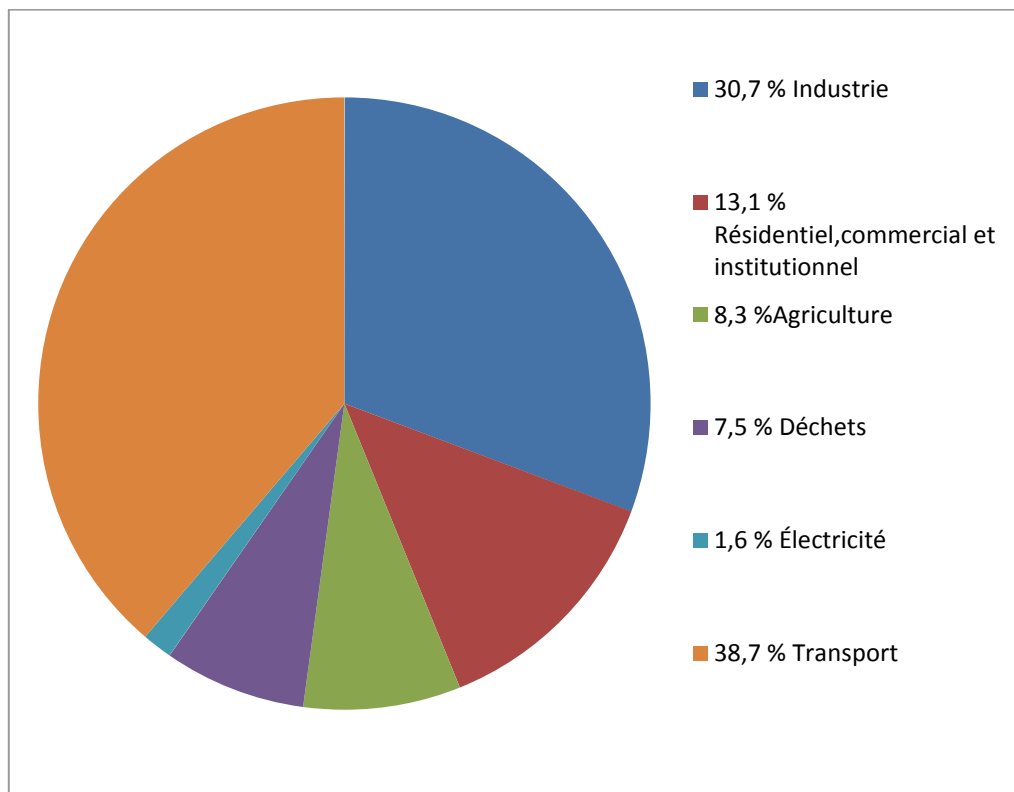


Figure 3. 1 : Répartition des émissions de GES par secteur d'activité au Québec en 2005.

À partir des travaux de (Lorenzi, 2006), (Hébert, 2008) et Irving *et al.* (2011) les facteurs de performance environnementale des véhicules ont été déterminés et s'expriment surtout en termes du type de carburation utilisé :

- Utiliser en priorité les véhicules dont la consommation de carburant ne dépasse pas une certaine quantité de litres par 100 km.
- Prioriser les véhicules diesel équipés en série de filtres à particules.
- Recourir à des véhicules légers propres, par exemple des véhicules à motorisation électriques pour des trajets courts.
- Respecter certains niveaux d'émissions de gaz à effet de serre et d'autres contaminants atmosphériques.

Il faut reconnaître que la technologie et la dynamique de l'amélioration des options offertes dans le marché ont changé dans les dernières années, rendant les objectifs visant la protection de l'environnement plus facile à atteindre et il est prévu qu'il y aura une disponibilité croissante de véhicules répondant aux strictes demandes environnementales. En effet, la plupart des constructeurs reconnaissent maintenant la nécessité d'offrir des véhicules qui ont, de plus en plus, une meilleure performance environnementale.

Chaque entreprise donne aux différents facteurs économiques, techniques ou environnementaux une importance qui lui est propre et qui correspond au type de flotte qu'elle exploite. Ces particularités seront exposées dans la partie qui suit.

#### **3.1.4. Exemples type d'ensemble de facteurs pour des flottes spécifiques**

Dans cette section nous allons voir les cas spécifiques pour quatre flottes différentes. Nous y retrouvons la flotte de la ville d'Albany (Albany City, 2011)), les routes et la flotte de Narrabri Shire, (Narrabri Shire Council, 2011), le Ministère de la Défense au Canada et le Conseil du Trésor du Canada (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada 2009).

La Ville d'Albany doit s'assurer que tous les véhicules de la flotte sont adaptés à l'usage et que leur utilisation et leur exploitation ne cause pas d'accidents ou de blessures à

l'opérateur. Les véhicules en Australie sont évalués par rapport au programme d'évaluation des nouveaux véhicules (ANCAP) qui leur accorde une note maximale de cinq étoiles en fonction de leur performance au cours des essais. Pour répondre aux engagements de santé et de sécurité, le plan de gestion de la ville exige un minimum de sécurité de 4 étoiles. Les véhicules ne répondant pas à ce critère sont exclus de l'évaluation.

Les véhicules particuliers et opérationnels doivent être en mesure d'effectuer des tâches de manière fiable et en toute sécurité. Les véhicules de passagers doivent être autorisés à transporter un minimum de 4 adultes. Les véhicules opérationnels varient en nombre de places en fonction des besoins de la région. Quatre roues motrices sont également fournies en fonction des besoins (Albany City, 2011) . En somme, la ville tient compte de critères de performance technique, de fiabilité et de santé et de sécurité des ouvriers.

Les nouveaux actifs et l'actualisation de l'équipement existant de la ville de Narrabri Shire (Narrabri Shire Council, 2011) sont identifiés à partir de différentes sources telles que les demandes du Conseil ou de la communauté et les propositions identifiées dans les plans stratégiques. Les propositions des candidats sont vérifiées pour évaluer leurs besoins et pour développer une estimation préliminaire de renouvellement. Les propositions qui ont été vérifiées sont classifiées selon la disponibilité de fonds et la priorité dans les programmes de travaux futurs. Les critères de classification selon la priorité sont détaillés dans le Tableau 3.1 ci-dessous.

CRITÈRE	PONDÉRATION
Plaintes des clients	35%
Disponibilité de fonds	30%
Modélisation et criticité du réseau	25%
Objectifs du plan de gestion	10%
Total	100%

Tableau 3. 1 : Critères de priorisation pour le classement d'actifs.

Pour le cas spécifique des forces militaires canadiennes, les flottes de transports de troupes blindés (TTB), appelé plus couramment véhicule blindé léger (VBL), doivent remplir certains nombres de critères quant à la puissance de feu, la mobilité et la capacité, les niveaux de protection contre les tirs directs, la menace des charges creuses et des mines (Stone, 2001).

En réalité, ces véhicules doivent répondre aux exigences opérationnelles minimales étant donné que les soldats canadiens affrontent au cours des opérations actuelles des armes techniquement sophistiquées. Le principe primordial est que le véhicule TTB, avec ses systèmes, sous-systèmes et composantes, doit être capable de mener des opérations de combat prolongées et efficaces et de remplir les exigences de l'entraînement en temps de paix. Toutes ces exigences de performance concernent un véhicule avec un effectif complet et prêt au combat. Il s'agit d'un type de véhicule vraiment spécialisé que nous pouvons apprécier dans la photo de la Figure 3.2<sup>2</sup> :



Figure 3. 2 : Véhicule blindé léger (VBL).

---

<sup>2</sup> Photo du MDN par le cpl Nightingale GN-C-99-259-27. Revue militaire canadienne (2001)



Le dernier cas se réfère aux voitures de fonction du gouvernement canadien. Il prend en compte plusieurs critères pour la gestion de ces voitures, laquelle doit être fondée sur l'économie, l'équité, la probité et la prise en considération des aspects environnementaux, tout en répondant aux besoins des utilisateurs autorisés. Les critères d'admissibilité des voitures de fonction utilisés par le gouvernement sont fondés sur la catégorie de véhicule, le nombre de cylindres et le type de carburant ainsi que le prix d'acquisition total utilisé pour déterminer si le véhicule satisfait aux exigences. Plus précisément, l'application des critères visent l'acquisition de véhicules hybrides, au carburant de remplacement et aux véhicules dotés d'un moteur de quatre cylindres à haut rendement énergétique. Le parc de voitures de fonction peut donc devenir complètement écologique. (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2009).

Enfin, nous avons ressorti d'autres critères généraux, difficilement quantifiables, à partir des travaux menés par (Irving *et al.* 2011), (Lorenzi, 2006) et (Hébert, 2008). Ils sont :

- La disponibilité des véhicules chez les concessionnaires locaux ;
- La disponibilité des technologies requises pour les carburants et motorisations ;
- La fiabilité et la sécurité de ces technologies ;
- La disponibilité des installations requises pour l'approvisionnement des carburants retenus.
- Le rapport coût / bénéfice à tous les utilisateurs de la flotte, les employés, et les communautés environnantes pour le choix d'un type spécifique de véhicule. Ce qui peut être mesuré en termes qualitatifs de leadership, de réputation et d'innovation.

En tant que leader en matière de politiques environnementales au Canada, le gouvernement du Québec a pris l'engagement de réduire ses émissions de GES de 10 millions de tonnes afin d'atteindre les objectifs fixés par Kyoto d'ici 2021. En conséquence, un plan a été instauré incluant 24 actions qui visent à réduire les émissions de GES et à s'adapter au changement climatique a été instauré (Gouvernement du Québec, 2008).

### 3.2. Les étapes du processus de sélection de nouveaux véhicules.

Cette partie permet au gestionnaire de choisir le véhicule approprié, correspondant le mieux aux besoins réels, à travers l'établissement de bons critères de sélection. Ce processus de sélection des nouveaux véhicules s'inspire du travail de Wafer (1997). Il présente une méthodologie assez complète, détaillée en étapes successives. La Figure 3.3 présente la série d'étapes nécessaire à la sélection d'un véhicule. Elles sont expliquées dans les sections qui suivent.

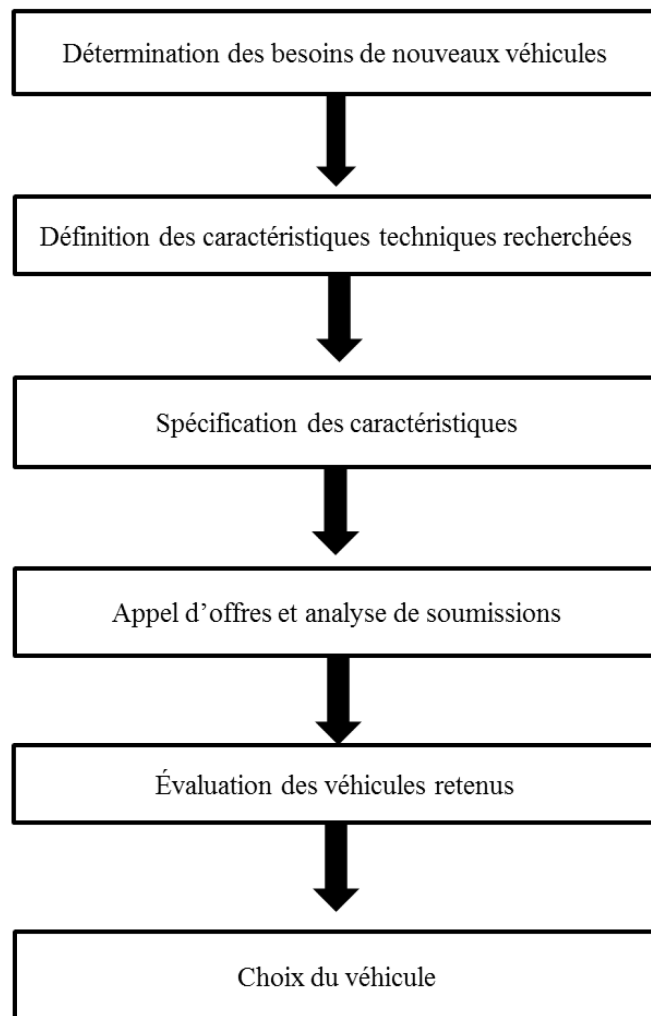


Figure 3. 3 : Étapes pour le choix approprié du nouveau véhicule.

### **3.2.1. Définition des besoins de nouveaux véhicules**

Le comportement de certains gestionnaires qui choisissent l'équipement d'abord et tentent de l'adapter par la suite n'est pas conseillé. Il importe en effet de définir en premier lieu les besoins existants et ensuite de s'orienter vers l'équipement qui correspond le mieux aux besoins. L'étape suivante consiste à définir les caractéristiques techniques recherchées.

### **3.2.2. Définition des caractéristiques techniques recherchées**

Une fois les besoins précisés, il est nécessaire de définir les caractéristiques techniques recherchées. Pour ce faire, trois actions importantes doivent être réalisées. Elles sont l'établissement du profil du véhicule, l'évaluation de la convenance des véhicules actuels et la confrontation des besoins aux spécifications des manufacturiers.

Pour établir le profil du véhicule recherché, il est nécessaire d'analyser la capacité (en termes de taille et poids) des véhicules recherchés et de vérifier qu'ils soient bien équipés pour pouvoir satisfaire les besoins opérationnels de la flotte. Pour déterminer les fonctions recherchées, ils doivent répondre à plusieurs facteurs techniques, économiques et environnementaux qui ont été détaillés à la section 3.1.

L'évaluation de la convenance des véhicules actuels nous ramène à la section 2.1.1 (l'analyse de l'état actuel du parc) car il est nécessaire se référer à la base de données pour vérifier les conditions actuelles d'utilisation. Cela nous permet de voir si l'équipement actuel est facile à entretenir, s'il se manœuvre bien, s'il a la capacité de suffire à la tâche et s'il est facile d'utilisation tout en permettant l'exécution de leurs tâches. Cette analyse nous permet de faire ressortir les besoins non comblés de la flotte actuelle et d'améliorer le standard de caractéristiques techniques que devra avoir le nouveau véhicule.

Le fait de demander un cahier des charges du véhicule désiré aux manufacturiers permet de confronter les besoins déterminés aux spécifications. Cela facilite l'obtention de services de qualité et de prix concurrentiels.

### **3.2.3. Spécification des caractéristiques**

À cette étape, les gestionnaires sont en mesure d'élaborer un cahier de charges du véhicule désiré qui devra inclure des spécifications claires et détaillées pour ne pas laisser place à des interprétations diversifiées.

### **3.2.4. Appel d'offres et analyse de soumissions**

Une fois les spécifications des caractéristiques établies, il est nécessaire de procéder à l'appel d'offres en considérant la quantité des véhicules désirés, la date et le lieu de livraison et les conditions particulières rattachées (par exemple la quantité de carburant pour chaque équipement). D'autres détails doivent aussi apparaître dans l'appel d'offres comme la fin de la période de soumission, le numéro de téléphone et le nom d'une personne ressource.

Une fois les soumissions reçues, il est conseillé de vérifier que celles-ci correspondent aux attentes, tant en termes de spécifications que des prix. Pour ce faire, une grille d'analyse pour l'ensemble de soumissions est fort utile, ce qui permet de faire une évaluation équitable et le plus objective possible.

### **3.2.5. Évaluation des véhicules retenus**

À cette étape, les véhicules retenus sont soumis à un processus d'évaluation permettant de choisir un véhicule spécifique qui répond à l'ensemble des facteurs économiques, environnementaux, techniques et d'autres, difficilement quantifiables. Pour bien mener à terme cette évaluation, le décideur peut avoir recours à l'analyse multicritère, expliquée à la section 2.3.

Grâce à cette méthode, une analyse plus réaliste et plus holistique des conditions d'opération des équipements peut être réalisée de manière à ce que des facteurs de nature et mesure distincts soient intégrés. Toutes les catégories de facteurs, quantitatifs et qualitatifs, sont tout d'abord évaluées sur une base individuelle. Un croisement de ces facteurs est ensuite effectué pour réaliser la comparaison sur une base globale.

Pour faire l'évaluation, sur une base quantitative, les gestionnaires peuvent, d'une part, tenir compte de la variation monétaire au fil du temps. Il s'agit en fait d'évaluer les facteurs financiers tels que l'inflation, le taux d'intérêt, l'actualisation des coûts, le financement, les dépenses d'intérêt et la fiscalité. Ce sont des éléments qui ont une incidence directe sur les coûts réels de possession.

D'autre part, ils peuvent analyser l'ensemble des coûts et des facteurs financiers sous une perspective globale ayant pour but de déterminer lequel des véhicules aura le coût le plus bas. Pour permettre à l'acheteur de quantifier les coûts de possession pour chaque véhicule, Wafer (1997) consacre une partie à la méthode du coût sur la durée de vie, LCC « Life cycle cost» (Wafer, 1997). Plusieurs auteurs proposent l'évaluation de coûts de possession à l'aide de cette méthode car très souvent les décisions d'achat de véhicules se prennent sur la base du plus bas coût d'acquisition offert par les soumissionnaires. Mais, le véhicule le moins cher à l'achat n'est pas nécessairement celui dont les coûts de possessions seront les plus bas au cours de sa durée de vie.

Une fois réalisé l'évaluation des facteurs quantitatifs, il importe d'évaluer tous les facteurs difficilement quantifiables. L'évaluation de facteurs qualitatifs, quant à elle, consiste à tenir compte des caractéristiques qu'il ne faut pas négliger, à tel point que dans la pratique, une bonne partie des décisions d'achat sont prises en tenant compte seulement ce type de facteurs.

La méthode de hiérarchie multicritère (MHM) est utilisée pour leur évaluation car elle prend en considération les opinions subjectives des gestionnaires. C'est une méthode qui évalue de façon tangible des facteurs complexes et difficilement quantifiables. Elle complète donc, avantageusement d'autres méthodes d'évaluation quantitatives.

La dernière étape est l'application d'une méthode globale qui permet de pondérer les résultats obtenus dans les deux premières étapes pour faire le choix du véhicule par la suite. Pour tenir compte de l'ensemble de facteurs qualitatifs et quantitatifs, cette méthode globale a recours elle aussi à la méthode de hiérarchie multicritère. La Figure 3.4 (Wafer, 1997) montre le choix d'un véhicule en fonction de ces trois étapes.

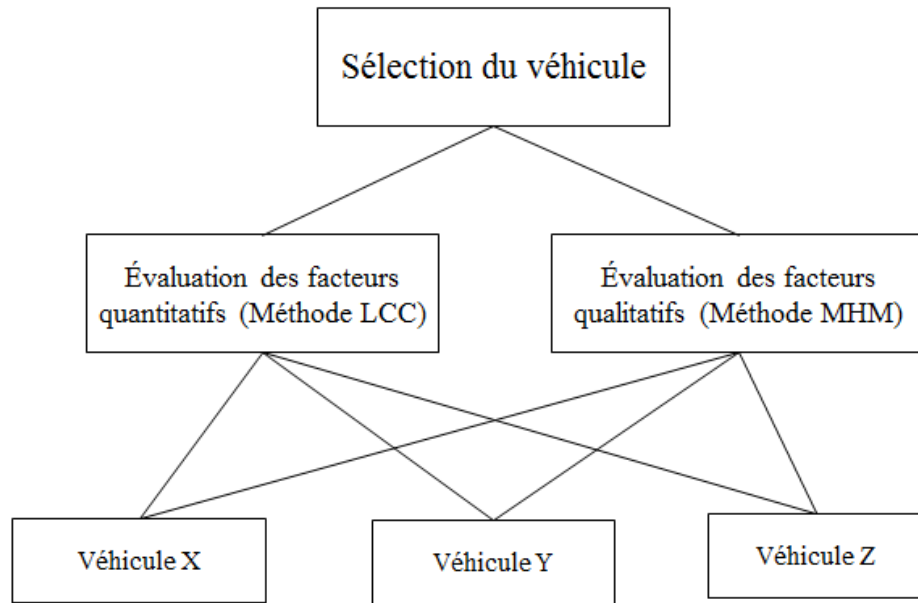


Figure 3. 4: Hiérarchie pour le choix d'un véhicule en considérant les facteurs de coûts et intangibles.

En somme, le type de véhicule ayant le plus faible des coûts, avec le moindre impact environnemental, qui tire profit des dernières technologies et possède la performance technique appropriée sera conseillé comme la meilleure option.

### 3.3. Différentes stratégies de remplacement

Cette section décrit l'ensemble des solutions alternatives présentes sur le marché outre les carburants ordinaires tels que l'essence ou le diesel. Elle vise aussi à effectuer l'évaluation comparative de ces technologies. Sur cette base, les gestionnaires de flotte peuvent se doter d'outils pour la prise de décisions concernant la sélection de nouveaux véhicules en vue de moderniser leurs flottes, d'atteindre les objectifs économiques et de diminuer les émissions. Les différentes alternatives ont été explorées en tenant compte de :

- Trois types de motorisation dont les véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible.
- Cinq types de carburant de remplacement dont le biodiesel, le gaz naturel comprimé, l'éthanol ou E85 (au moins 85% avec 15% d'essence), le gaz de pétrole liquéfié et le propane.

### **3.3.1. Types de motorisation alternatives**

Dans un contexte d'accroissement de l'activité de transport, l'adoption généralisée des nouveaux véhicules est nécessaire, en particulier les véhicules performants en termes d'émissions de polluants et de gaz à effet de serre. Même si ces véhicules ne sont pas une solution miraculeuse à ce problème, leur adoption permettrait des bénéfices en termes économiques et environnementaux. Ces bénéfices sont liés à la réduction des coûts des carburants et aux réductions considérables des émissions du secteur du transport, en accord avec les mesures du gouvernement à ce sujet. Le gouvernement du Québec encourage l'offre sur le marché, de nouveaux véhicules qui respectent un seuil maximum d'émissions de GES fixé annuellement (gouvernement du Québec, 2008).

Une étude des options disponibles sur le marché canadien nous permet de faire la distinction entre trois types de motorisations alternatives soient : les véhicules hybrides, électriques et à pile à combustible.

Parmi les nouvelles technologies, celles des véhicules hybrides (essence ou diesel / électrique) et, à plus long terme, celles des véhicules à pile à combustible, semblent être les plus prometteuses dans la perspective d'une amélioration des performances en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules automobiles classiques à essence ou diesel tout en répondant aux exigences du marché en termes de performances du véhicule (OCDE, 2004).

#### **3.3.1.1. Véhicules électriques**

Le fonctionnement des véhicules électriques n'entraîne aucune émission locale, de sorte que cette technologie est souvent considérée comme potentiellement souhaitable dans les zones urbaines (OCDE, 2004). Le stockage de l'énergie est un obstacle majeur à une vaste adoption des véhicules électriques. La densité énergétique des batteries est inférieure à celle des produits pétroliers ce qui résulte en un poids supérieur pour une autonomie moindre. Le coût des batteries et leur rechargement bien plus long qu'un passage à la pompe à essence est encore un autre frein.

Il existe différents types de batteries disponibles à l'heure actuelle sur le marché mais aucune d'elles ne parvient à égaler ou surpasser la densité énergétique des carburants fossiles (Gagné et Dubois, 2011). L'amélioration des performances des batteries constitue la clé du succès de la technologie des véhicules électriques.

Bien que divers types de batteries évoluées soient en cours de mise au point, il semble peu probable que l'on assiste à un progrès décisif qui ouvrirait la voie à des applications généralisées de véhicules complètement électriques.

Il existe différents types de véhicules électriques, mais toutes les entreprises qui produisent actuellement ces véhicules ne sont pas assez grosses pour pouvoir répondre au haut potentiel de demande. La plus grande société qui produit actuellement des véhicules électriques est Phœnix Motorcars. Située en Ontario et en Californie, elle produit des camions électriques. Ces véhicules ne sont toutefois pas actuellement disponibles au Canada (Irving, 2011).

Pour diminuer les GES, le gouvernement du Québec a décidé dans le contexte de projets pilotes, de permettre l'accès au réseau routier aux nouveaux véhicules ou équipements dont les véhicules électriques à basse vitesse (Gouvernement du Québec, 2008).

### **3.3.1.2.Véhicules hybrides**

Un véritable hybride complet fonctionne de l'une des manières suivantes pour aider à économiser l'essence : Lorsque la voiture s'arrête, le moteur est coupé et les batteries et moteur électrique font fonctionner les systèmes du véhicule. Lorsque la voiture commence à se déplacer à nouveau, le moteur va propulser le véhicule jusqu'à ce que le fonctionnement du moteur soit efficace. Cette vitesse se situe habituellement entre 16 et 64 km par heure. En outre, lors de fortes accélérations, le moteur électrique et le moteur à combustion interne marchent ensemble de sorte que la transmission fonctionne à une efficacité maximale dans le but d'économiser du carburant.

La tendance récente est à la mise au point de technologies hybrides légères faisant appel à un système d'alterne-démarrateur pour améliorer le rendement de moteurs à essence/diesel (OCDE, 2004).



Les performances des véhicules hybrides en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> sont supérieures à celles des meilleurs véhicules à essence ou à diesel, mais leurs coûts de production sont, à l'heure actuelle, sensiblement plus élevés que ceux des véhicules classiques offrant des performances du même ordre sur la route. Environ 130 000 véhicules hybrides sont déjà en circulation dans le monde mais le succès de ce type de véhicules dépendra dans une large mesure de la capacité des constructeurs à réduire leur coût marginal de production (OCDE, 2004).

Le gouvernement du Québec offre un remboursement partiel de la taxe de vente du Québec (TVQ), jusqu'à concurrence de \$ 2 000, aux acheteurs de voitures hybrides (essence/électricité) qui consomment six litres et moins de carburant aux 100 kilomètres et un remboursement complet de la taxe sur le carburant perçue à l'achat de biodiésel (Gouvernement du Québec, 2008).

### **3.3.1.3. Véhicules à pile à combustible**

À l'heure actuelle, les véhicules à pile à combustible font l'objet d'intenses recherches. Cette technologie est prometteuse pour les véhicules routiers et pourrait offrir à la fois un rendement élevé et des émissions réduites. Outre les questions de coûts, la commercialisation des véhicules à pile à combustible est également confrontée à un certain nombre de problèmes concrets (OCDE, 2004). Le premier est celui du choix du combustible parmi l'hydrogène, l'essence ou le méthanol.

Choisir l'hydrogène exigerait la mise en place d'un nouveau réseau complet de distribution qui serait très coûteux. Retenir le méthanol ou l'essence supposerait que le véhicule soit équipé d'un convertisseur, ce qui ne produirait aucun avantage significatif par rapport aux véhicules à essence et diesel de nouvelles générations en termes d'émissions de polluants atmosphériques.

Des véhicules électriques à pile à combustible fonctionnant à l'hydrogène pur, produit à partir de sources renouvelables ou d'autres sources à émission zéro de carbone, pourraient être considérés comme des véhicules « zéro émission de carbone », puisque seule de l'eau est produite si le combustible est de l'hydrogène.

Si, par contre, le véhicule à pile à combustible est équipé d'un convertisseur afin de produire l'hydrogène à partir de l'essence, du diesel ou du méthanol, les émissions d'hydrocarbures (*HC*) et de  $CO_2$  seront probablement du même ordre que celles des futurs véhicules diesel évolués. Les émissions de  $NO_x$  seront sans doute du même ordre que celles des futurs véhicules à essence.

Compte tenu des défis techniques actuels à surmonter, il est peu probable que les piles à combustibles constituent avant longtemps une solution optimale pour les automobiles (OCDE, 2004).

Le Tableau 3.2 met en parallèle les 3 types de motorisation alternative. Les aspects saillants mis dans ce tableau ont été identifiés à partir des travaux de (Hébert, 2008), Irving *et al.* (2011) et (OCDE, 2004).

	Véhicules électriques	Véhicules hybrides	Véhicules à pile à combustible d'hydrogène
Coûts	Coût élevé d'acquisition	Les coûts de production sont sensiblement plus élevés que ceux des véhicules classiques.	Environ USD \$ 250.000, ce coût élevé est dû au transport et au stockage de l'hydrogène.
Disponibilité	Les entreprises qui produisent actuellement les véhicules électriques ne sont pas assez grosses pour produire en masse et répondre au potentiel de haute demande. Montréal et Québec bénéficieront dès 2012 du premier réseau de bornes de recharges pour les voitures électriques au Canada.	En 2015, cette voiture pourrait être au cœur de l'actualité, avec des estimations pouvant s'élever au nombre de 50 modèles (contre environ 30 aujourd'hui) et 20 autres plug-in hybrides sur le marché.	Elles existent uniquement en tant que modèles de démonstration et à la location en nombre limité, mais n'ont pas encore été divulguées au public.
Avantages	Leur fonctionnement n'entraîne aucune émission locale, donc potentiellement souhaitable dans les zones urbaines. Ils offrent un niveau de confort élevé. De nouveaux concepts sont en cours d'élaboration, le plus prometteur étant celui de l'hybridation du véhicule électrique.	Il peut offrir un meilleur rendement du moteur et l'énergie de freinage est en partie récupérée. Réduction des émissions de CO2 Par rapport aux véhicules conventionnels.	Produit à partir de sources renouvelables ou d'autres sources à émission zéro de carbone, peut être considéré comme étant « zéro émission », puisque seule de l'eau est produite.
Inconvénients	Faible autonomie et performance, vitesse maximale de 50km/h, long délais de charge des batteries, et absence d'infrastructures à cet effet. Au stade actuel, seuls de petits véhicules et des motocycles électriques sont compétitifs sur le marché. Le recyclage des batteries est un problème encore sans réponse.	Les coûts de production sont encore élevés et l'économie sur les coûts de consommations d'essence amortit rarement la différence de coût investie au départ. La conduite et l'utilisation du véhicule influencent les émissions de GES, c'est pour quoi, celles-ci sont difficiles à quantifier.	Impact économique extrêmement élevé.  l'impact social de risque élevé

Tableau 3. 2 : Comparaison de trois types de motorisation.

Cette comparaison porte essentiellement sur 4 éléments :

- Les aspects économiques (prix et coûts de conversion),
- La disponibilité au Canada,
- Les avantages en termes d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et autres contaminants atmosphériques, de la fiabilité de la technologie de conversion,
- Les inconvénients.

### **3.3.2. Les carburants de remplacement**

Il existe, pour les véhicules de transport routier, tout un éventail de carburants de remplacement ; beaucoup d'entre eux sont déjà utilisés depuis un certain nombre d'années au Québec. Les carburants de remplacement traités ici sont : Le gaz de pétrole liquéfié (GPL), le gaz naturel comprimé, le biodiesel, le propane et l'éthanol ou E85.

#### **3.3.2.1. Les gaz de pétrole liquéfié (GPL)**

Les hydrocarbures constituant le GPL utilisé comme carburant pour véhicules, sont essentiellement le propane et butane.

Les véhicules équipés de moteurs au GPL sont, au plan mondial, les plus largement produits parmi les véhicules utilisant des carburants de remplacement (OCDE, 2004).

Les véhicules au GPL ont des performances comparables aux véhicules à essence en ce qui concerne les émissions de polluants, mais ils émettent moins de CO<sub>2</sub>. La comparaison avec les véhicules à moteur diesel montre que les technologies du GPL offrent d'excellents résultats en termes d'émissions de particules, mais quant à leurs émissions de CO<sub>2</sub> sont légèrement plus élevées. Au Québec, le réseau de distribution de ce carburant est encore très limité.

#### **3.3.2.2. Le gaz naturel comprimé (GNC)**

Le gaz naturel comprimé (GNC) est fabriqué par compression de gaz naturel qui est, la plupart du temps, composé de méthane (CH<sub>4</sub>) à moins de 1% du volume qu'elle occupe à la pression atmosphérique normale.

Les moteurs fonctionnant au GNC (gaz naturel comprimé) émettent très peu de particules par rapport aux moteurs diesels actuels. Les niveaux de bruit et de vibration des véhicules au GNC sont aussi très inférieurs à ceux des véhicules à moteur diesel. Les coûts de stockage sont plus bas par rapport aux coûts de stockage du gaz naturel liquéfié en raison du besoin d'un système de refroidissement permanent pour le réservoir (réservoir cryogénique) (OCDE, 2004).

Leurs inconvénients tiennent à la faible autonomie, à la perte de volume utile due aux cylindres de GNC et aux infrastructures souvent limitées d'alimentation en carburant. Un véhicule au gaz naturel comprimé a besoin d'une plus grande quantité d'espace de stockage de carburant que les véhicules ordinaires. Ainsi donc, le besoin d'une installation des cylindres sous pression contenant le carburant constitue un problème sérieux (OCDE, 2004). Les émissions de CO<sub>2</sub> des moteurs au GNC sont équivalentes ou supérieures à celles des moteurs diesel.

Le Canada ne dispose de systèmes de mis au point de moteurs à gaz naturel que pour les autobus, gros camions, et certains taxis. La disponibilité du gaz naturel comprimé est limitée aux grandes villes (Irving, 2011).

### **3.3.2.3. Le biodiesel**

Le biodiesel est un carburant alternatif qui est constitué d'esters méthyliques ou éthyliques dérivés à partir d'un large éventail de sources d'énergie renouvelables comme l'huile végétale (Soya, ou canola parmi d'autres), les graisses animales et l'huile de cuisson. Les esters sont des composés oxygénés organiques qui peuvent être utilisés dans les moteurs à allumage par compression car leurs propriétés clés sont comparables à celles du carburant diesel (Irving, 2011).

La forme la plus pure de carburant biodiesel est appelé B100. Comme son nom l'indique, il est pur à 100% biodiesel. Il existe d'autres mélanges de biodiesel, mais cette recherche s'attarde à la discussion sur le B100. Les émissions de dioxyde de carbone constituent entre 94-98% du total des émissions de GES émis par le biodiesel (Irving, 2011).

Le biodiesel peut actuellement être utilisé dans n'importe quel moteur diesel, avec peu ou pas beaucoup d'adaptations du moteur. Comme le biodiesel gagne en popularité, les fabricants d'automobiles commencent à reconnaître les avantages de cette source de combustible. Ainsi, par exemple, la société Kreiswerke Heinsberg GmbH fut la première société de transport de personnes en Allemagne à convertir sa flotte de 130 bus au biodiesel dès 1996, suite à des études sur les carburants alternatifs, dont le biodiesel et le gaz naturel. Ces études ont montré que des investissements importants en matière de véhicules et d'infrastructures d'approvisionnement pouvaient être évités en utilisant du biodiesel plutôt que du gaz naturel (Schoeling, Lievens et Jossart, 2008).

En règle générale, le biodiesel n'a pas conduit à une augmentation de la consommation : l'odeur du biodiesel est nettement moins désagréable que celle du diesel fossile, les conditions de travail des mécaniciens sont améliorées, notamment en termes de sécurité puisque le biodiesel est moins toxique. L'emploi de biodiesel dans les moteurs diesel peut réduire sensiblement les émissions d'hydrocarbures imbrûlés, de monoxyde de carbone, de sulfates et de particules.

Il y a toutefois des aspects qu'il ne faut pas négliger dans l'analyse de ce type de carburant. En premier lieu, historiquement, un peu partout au Canada, les mois d'hiver peuvent être très froids. Cela soulève une question parce que le biodiesel pur (B100) doit être conservé à une température d'au moins 10 degrés Celsius (Irving *et al.* 2011). En deuxième lieu, les coûts de l'éthanol et du biodiesel sont généralement deux à trois fois plus élevés que ceux des carburants issus du pétrole (OCDE, 2004). En dernier lieu, une production à grande échelle de biocarburant, en utilisant des céréales comme matière première, exigerait d'énormes superficies au détriment des activités agricoles normales.

#### **3.3.2.4. Le propane**

Le propane est un hydrocarbure qui s'utilise comme carburant pour les véhicules légers. On le trouve sous forme gazeuse et il a une faible teneur en carbone ( $C_3H_8$ ). Ses propriétés lui confèrent l'avantage d'être facilement stockable et transportable à l'état liquide ce qui permet une grande diversité d'utilisations (Hébert, 2008). Ce gaz, dérivé de produits pétroliers (pétrole ou gaz), sert de combustible ou carburant dans les secteurs industriels,

agricoles, ou encore, domestiques. Au Canada, l'industrie utilise le propane HD-5 qui est une formulation plus propre et plus efficace. Il est utilisé dans les moteurs à combustion interne, les chaudières ou encore dans les barbecues.

L'étude menée par (Hébert, 2008) conclut que le propane répond aux besoins des flottes commerciales, publiques ou privées, de véhicules légers qui ont pour objectif de diminuer à la fois les coûts de carburant et la réduction de gaz à effet de serre, tout en donnant un positionnement plus vert aux entreprises. Il constitue donc, une solution alternative fiable et flexible.

Cette conclusion est fondée sur les arguments suivants, toujours à partir de l'étude de (Hébert, 2008) :

- Le propane permet des réductions de coûts d'opération allant jusqu'à 35% par rapport à l'essence, et ce, pour des véhicules légers comme les automobiles à passagers, des camions à passagers ou les utilitaires.
- Lorsqu'on tient compte des coûts de conversion, d'installation et d'infrastructure, le propane est le carburant de remplacement le plus économique de tous.
- Quant aux émissions de GES, le propane réduit les émissions de 25% par rapport à l'essence, de 20% comparativement au diesel, de 18% par rapport au mélange essence-éthanol (E10) et de 5% par rapport au gaz naturel.
- Le propane est disponible maintenant et ce, à grande échelle, contrairement aux motorisations alternatives et à l'hydrogène, qu'il faut encore attendre plusieurs années, et à la majorité des carburants de remplacement qui ne sont pas disponibles à grande échelle ou qui n'auront pas de chaîne de distribution même dans le moyen terme. Le gaz propane est un produit largement distribué au Canada et au Québec. Au Québec, sa distribution est assurée par plus de 80 détaillants à travers l'ensemble de la province.

Le propane est une technologie fiable et sécuritaire, facile à installer et qui est en usage depuis de nombreuses années dans des flottes de véhicules commerciaux et institutionnels en Ontario et aux États-Unis. Parmi tous les carburants de remplacement, c'est le seul qui montre une fiabilité et sécurité équivalente à l'essence et au diesel. Le principe de conversion est fiable et simple à installer sur la plupart des véhicules. L'existence sur le marché d'équipements de conversion rend ce carburant de plus en plus attractif pour les

gestionnaires de flottes qui opèrent des véhicules légers tels que des automobiles, des fourgonnettes ou des véhicules utilitaires légers (Hébert, 2008). Le propane est inodore et non toxique. Cependant, une trop grande concentration dans l'air peut causer de l'asphyxie par manque d'oxygène. C'est pourquoi on lui rajoute généralement un additif permettant de lui donner une odeur pour le repérer en cas de fuite.

### **3.3.2.5. L'éthanol ou E85 (au moins 85% avec 15% d'essence)**

L'éthanol est devenu un carburant de remplacement de plus en plus populaire sur la base de ses caractéristiques respectueuses de l'environnement. Il est généré biochimiquement par la photosynthèse et la fermentation et est donc une ressource entièrement renouvelable. Toutefois, il n'est pas encore clair si l'éthanol est vraiment supérieur à l'essence car ils produisent de grandes quantités à la fois de l'acétaldéhyde et de formaldéhyde (Cunningham, 2007). Certaines études ont montré que la grande utilisation de l'E85 pourrait en fait augmenter les problèmes d'asthme, les hospitalisations et les décès causés par exposition à l'ozone créé par des rejets importants de ces produits cancérigènes (Cunningham, 2007). La disponibilité de l'E85 demeure un problème, surtout en raison du fait du nombre de stations E85 au Canada. Un total de 28 modèles de véhicules différents sont disponibles pour les Canadiens, la plupart de Daimler Chrysler, Ford et GM (Irving, 2011).

D'autres méthodes de production de l'éthanol sont possibles à partir de la cellulose par exemple. Il semble par contre qu'elles soient encore plus coûteuses. Pour faciliter l'accès à l'éthanol, le gouvernement du Québec encourage les distributeurs d'essence à fournir un pourcentage d'éthanol pour l'ensemble de leurs ventes de carburants au Québec (gouvernement du Québec, 2008).

En somme, une comparaison est faite à partir des travaux de (Hébert, 2008), Irving *et al.* (2011), (OCDE, 2004). La comparaison (mise dans le Tableau 3.3) porte sur les différents carburants de remplacement essentiellement quant aux éléments suivants : (1) les aspects économiques (coûts de conversion), (2) la disponibilité du carburant et des infrastructures de ravitaillement, (3) les avantages et (4) les inconvénients.



ALTERNATIVE	COÛTS	DISPONIBILITÉ AU CANADA	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
L'éthanol ou E85	Il est 2 à 3 fois plus coûteux que les carburants issus du pétrole	Un total de 28 modèles différents sont disponibles, la plupart de Daimler Chrysler, Ford et GM	Caractéristiques respectueuses de l'environnement car elle est générée biochimiquement par la photosynthèse et de la fermentation et est donc une ressource entièrement renouvelable	La grande utilisation de l'E85 pourrait augmenter les problèmes d'asthme et autres, causés par exposition à l'ozone créé par des rejets importants de ces produits cancérigènes
Le biodiesel	Les coûts sont généralement deux à trois fois plus élevés que ceux des carburants issus du pétrole	Il est encore au stade de tests avec quelques flottes de véhicules au Québec	Le biodiesel peut actuellement être utilisé dans n'importe quel moteur diesel, avec peu ou pas beaucoup d'adaptations du moteur. Moins d'émissions de CO2 que le diesel ordinaire	biodiesel pur (B100) doit être conservé à une température d'au moins 10 degrés Celsius.
Le propane	Les prix du propane sont influencés par le prix de pétrole brut et les prix du gaz naturel. Le coût moyen de la conversion pour fonctionner au propane peut être plus de 4000 \$	Le propane est disponible maintenant et ce, à grande échelle, contrairement aux motorisations alternatives et à l'hydrogène.	Le gaz propane contient de faibles niveaux de soufre, ce qui réduirait l'acidité de la pluie. L'empreinte carbone du propane est beaucoup plus petite que celle des autres combustibles	Les véhicules devront être convertis pour fonctionner au propane.
Le gaz naturel Comprimé	le gaz naturel coûterait 40% de moins que l'essence	Mis au point de moteurs à gaz naturel disponibles pour les autobus, gros camions, et certains taxis. La disponibilité du	Il est beaucoup plus propre que le gaz, le diesel ou le propane. Le gaz naturel liquéfié produit deux fois et demie de moins d'émissions CO2	Il a besoin d'une plus grande quantité d'espace de stockage de carburant que les véhicules ordinaires. En cas de déversement, le

		gaz naturel comprimé est limitée aux grandes villes	que le charbon. Les émissions de particules sont plus petites que pour le diesel. Les niveaux de bruit et de vibration sont aussi très inférieurs à ceux des véhicules à moteur diesel	gaz naturel comprimé s'évaporerait rapidement
Le gaz de pétrole liquéfié	Coûts d'exploitation et d'entretien raisonnables	Les réseaux de distribution sont très limités.	ils émettent moins d'émissions de CO2 que les véhicules à essence. Moins d'émissions de particules que le diesel	Émissions de CO2 un peu plus élevé que le diesel

Tableau 3. 3 : Comparaison des différents carburants de remplacement.

La mise en place de flottes plus vertes requiert de la disponibilité de réseaux d'approvisionnement des différentes alternatives. Les biocarburants (biodiesel et éthanol) offrent plusieurs avantages. Les politiques à ce sujet adoptées par le gouvernement encouragent l'utilisation des biocarburants et le développement de voitures électriques dans les prochaines années. De ce point de vue, certaines solutions alternatives semblent avoir un avenir prometteur dans le long terme, tandis que peu d'entre elles sont des options valables dans le court terme.

Cet état des choses a été analysé et expliqué par (Hébert, 2008) à l'aide d'une fenêtre d'opportunité. Les gestionnaires de flottes qui désirent réduire leurs coûts d'exploitation et faire leur part pour l'environnement doivent donc considérer des options différentes à leur état actuel. Étant donné qu'un véhicule régulier ne peut pas être converti en hybride, la conversion au gaz naturel ou au propane représente une occasion pour des flottes qui ont des véhicules standards et sont déjà en opération (Hébert, 2008).

En effet, une demande croissante du nombre de conversions des véhicules au gaz naturel ou au propane est envisageable à court terme même avec l'introduction de nouvelles technologies comme des véhicules hybrides propane/électrique au lieu du système classique essence/électrique. Alors, il n'y a aucun doute qu'une fenêtre d'opportunité existe

pour un carburant comme le gaz propane et ce, dans le court terme (Hébert, 2008), tel qu'illustré dans la figure 3.5.

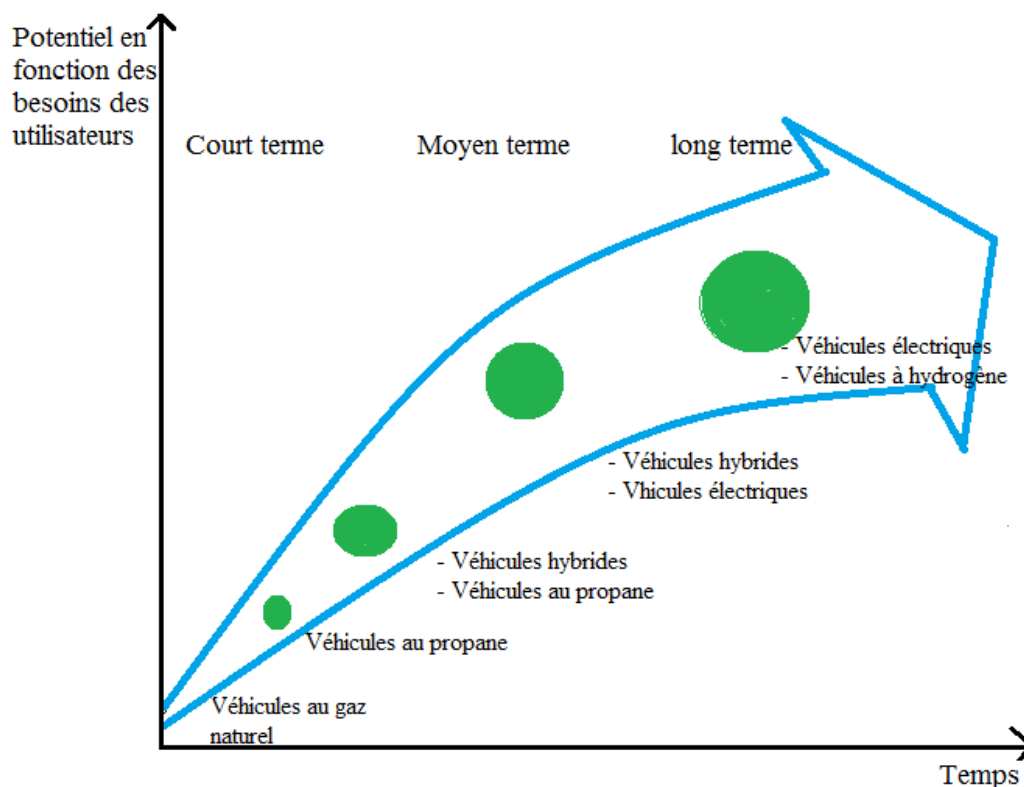


Figure 3. 5 : Fenêtre d'opportunité (Hébert, 2008).

Pour finir ce chapitre, il ne reste qu'à souligner le fait des changements fréquents dans les normes d'émission et l'évolution de la technologie des véhicules s'ajoutent à l'incertitude dans la prise de décision.

Ainsi, par exemple, un autobus a une espérance de vie d'environ 20 ans. Si au cours de sa durée de vie, un changement des normes d'émission survient et que l'autobus ne peut plus satisfaire aux exigences, alors les autobus non conformes doivent être progressivement éliminés ou mis en conformité avec les exigences d'émission, ce qui coûte de l'argent et du temps, conduisant de cette façon à des pertes financières et de service.

Une fois définies les stratégies de remplacement, les entreprises ont besoin de prévoir les ressources financières nécessaires à l'acquisition des nouveaux véhicules qui vont

remplacer ceux que le plan a déterminés. Il importe donc de faire l'analyse des aspects financiers qui impliquent les décisions concernant le renouvellement de la flotte. C'est le sujet abordé dans le chapitre qui suit.

## **4. Les aspects financiers du renouvellement**

Étant donné que le processus de sélection de nouveaux véhicules implique des investissements, il est important de prévoir les ressources pour l'achat ou pour la location de nouveaux véhicules de manière à conserver la stabilité du financement. Cette stabilité et l'amélioration des processus sont nécessaires pour financer adéquatement le remplacement et l'entretien de la flotte (Flores, 2010).

Généralement, les coûts des équipements industriels augmentent avec le temps ou l'âge. Même si l'augmentation du coût nécessite le remplacement de l'équipement, le taux d'augmentation des coûts peut varier d'un élément à un autre. Grâce à divers taux d'augmentation des coûts en cours de fonctionnement, il n'y a pas de temps clair et défini qui indique le remplacement de l'équipement, lorsque les facteurs économiques déterminent la décision. Le remplacement des équipements nécessite le calcul de l'augmentation des coûts d'exploitation, de maintenance, d'inactivité forcée ainsi que les coûts pour les remplacer par de nouveaux équipements. Ainsi, à un certain stade, il peut être plus économique de se débarrasser du matériel ancien et de le remplacer par un nouveau. Le processus de renouvellement se fait dans le cadre d'un budget et donc, la disponibilité des fonds est restreinte.

Afin de tenir compte des contraintes budgétaires, il peut être nécessaire d'introduire un modèle de disponibilité du capital et le coût des capitaux supplémentaires au fil du temps par divers moyens.

Ce chapitre touche les notions qui sont implicites aux décisions d'investissement en équipement. Différentes notions sont traitées dans son ordre : Les coûts d'exploitation, le coût associé au modèle de remplacement proposé, la dépréciation, l'analyse du coût du cycle de vie, l'analyse des coûts sous différents scénarios de remplacement afin de voir l'impact financier associé à la mise en œuvre du nouveau système, l'évaluation des alternatives de financement en ayant pour but de déterminer la moins coûteuse, les projections financières, les erreurs communes dans les projections et les principales hypothèses faites dans les prévisions. L'ensemble de ces éléments sont des composantes du

financement de la flotte qui à la fois fait partie du système d'information et de gestion de la flotte.

## **4.1. Les coûts d'exploitation**

Les coûts d'exploitation sont le total des coûts de fonctionnement du véhicule pour une période donnée. Autrement dit, ce sont les coûts qui ont lieu dans le cadre de l'opération propre au véhicule ou encore liés à des événements tels que l'application de lubrifiant, l'utilisation de carburant ou à cause de la maintenance, etc. Ces coûts ne comprennent pas le coût de la dotation en personnel ou de l'administration du véhicule. Ces coûts ne sont pas principalement liés au coût du véhicule et doivent être considérés séparément.

Comme les coûts d'exploitation augmentent avec l'âge en raison d'une variété de facteurs tels que la détérioration de composants ou l'usure, il est nécessaire d'avoir des données de base sur le coût d'exploitation avec toutes leur composantes pour déterminer s'il est trop élevé par rapport au coût d'acquisition ou non.

Les composants du coût d'exploitation comprennent notamment les frais de carburant, les frais d'immatriculation, les frais de réparation, les frais d'amortissement, les assurances et autres frais.

### **4.1.1. Les frais de carburant**

Le carburant peut être un coût important dans l'ensemble des coûts d'un véhicule. Cela peut notamment être le cas lorsque le véhicule est grand et est utilisé pour transporter des charges lourdes. Les frais de carburant sont fonction de la longueur des trajets, de la consommation de carburant du véhicule et, évidemment, du prix du carburant (Transports Canada, 2012). L'estimation des frais de carburant s'obtient en multipliant ces trois facteurs. Donc, ils se calculent comme suit :

$$Car_{j,n} = d_{j,n} \times C_j \times CC_j \quad (\$) \quad (4.1)$$

Où  $d_{j,n}$  : Distance à parcourir pour un véhicule  $j$  à l'année  $n$  ( $km$ );

$C_j$  : Consommation du véhicule  $j$  ( $l/100km$ ).

$CC_j$  : Coût du carburant d'un véhicule  $j$  (\$/l).

#### **4.1.2. Les frais d'immatriculation**

Les frais d'immatriculation au Canada prennent en compte les droits provinciaux ou territoriaux d'immatriculation pour des diverses configurations d'ensembles routiers.

#### **4.1.3. Les frais de réparation**

Les frais de réparation correspondent au coût des composants nécessaires à l'entretien et à la réparation d'un type de véhicule spécifique. Ils dépendent directement du temps requis pour effectuer une réparation, du taux horaire de la main-d'œuvre, du coût des pièces de rechange, des lubrifiants, de l'huile et de la fréquence des interventions (Wafer, 1997).

Les coûts des réparations sont très variables. Ainsi, l'augmentation de la variance ou de la «volatilité» dans le jargon financier peut avoir un impact majeur sur l'estimation de la charge de travail de réparation et des besoins en personnel. En outre, une tendance historique des coûts d'entretien des véhicules versus l'âge tend à sous-estimer les véritables coûts de maintenance des véhicules plus anciens, car les véhicules très problématiques ont généralement déjà été abattus de la flotte (Bilbona, 2003). Par ailleurs, les véhicules plus anciens ont tendance à être réaffectés à une utilisation moins intensive et de grosses réparations peuvent être différées ou pas faites du tout.

#### **4.1.4. Les frais d'amortissement**

L'amortissement est un terme comptable utilisé pour décrire la déduction progressive de la valeur comptable d'un actif au fil du temps, à travers le paiement des versements réguliers. Semblable à la dépréciation, il est une méthode de déduction en versements périodiques du coût de l'utilisation à long terme des actifs tels que les véhicules. Ce montant est la provision constituée pour l'achat futur d'un autre véhicule. Autrement dit, les frais d'amortissement sont étroitement liés au coût de remplacement. Si l'amortissement n'est pas pris en compte dans le budget, on ne disposera pas par la suite du capital nécessaire pour l'achat d'un autre véhicule.

#### **4.1.5. Autres frais**

Cet item correspond aux frais de nettoyage, les frais de pneus et les frais de transport. Chacun de ces concepts est brièvement expliqué à partir du rapport de (Transports Canada, 2012) dans ce qui suit :

Les frais annuels de nettoyage varient selon la nature du travail effectué par le véhicule et de son utilisation au cours de l'année.

Pour obtenir des frais de pneus réalistes pour les divers types de véhicule, il est nécessaire de tenir compte des facteurs tels que le nombre de pneus selon le véhicule et le prix des pneus neufs par genre de véhicule utilisé, la durée de vie des pneus en fonction des divers types et conditions d'utilisation et le coût du rechapage, (si ce dernier est souhaitable) et, finalement, la durée de vie d'un pneu rechapé.

Les frais de transport sont une catégorie de frais divers du transport de marchandises qui comprend tous les facteurs qu'il est possible d'attribuer aux accessoires supplémentaires qu'on ne considère pas habituellement faire partie du véhicule. Ils peuvent découler de pompes spéciales, de boyaux flexibles, de matériel de sécurité, du fardage, de petits outils, de chaînes, etc.

Il est important de faire l'analyse des coûts d'exploitation en regard de l'influence que chaque composant du coût a sur l'ensemble, en particulier le pourcentage du coût d'exploitation qui est associé au remplacement du parc.

En outre, il est bénéfique d'analyser l'effet qu'un changement de taux d'intérêt pourrait avoir sur les frais de fonctionnement de la flotte en termes de coûts de financement. Un croisement des coûts fixes et variables encourus par type de véhicule et par option de financement sur les différentes options de financement devrait être aussi réalisé.

#### **4.2. Le coût de remplacement**

Tel que vu dans le chapitre 2, un plan de renouvellement d'un parc doit fournir des informations importantes sur le coût de remplacement des véhicules. Ces informations peuvent être utilisées pour mieux gérer le financement.



Le coût de remplacement représente le montant qui devrait être mis de côté pour s'assurer des fonds adéquats pour faire le remplacement du véhicule. Ce montant doit être ajusté en dollars constants pour chaque année subséquente à l'opération des véhicules. (Ministry of Transports, 2006).

Pour le calculer il faut avoir les données concernant le taux d'intérêt, le facteur d'amortissement, le taux d'inflation, la durée de vie du véhicule, le coût d'achat et le prix de vente prévu (Ministry of Transports, 2006). Une brève description de chacune de ces notions est mise ci-après :

#### **4.3.1. Durée de vie**

Nombre d'années pendant lesquelles l'entreprise a l'intention de garder le véhicule. Généralement mis en nombre entiers.

#### **4.3.2. Taux d'inflation**

Il s'agit du taux actuel ou moyen au cours des 12 derniers mois. Le taux d'inflation peut être obtenu à la banque du Canada<sup>3</sup>. La formulation d'une politique de renouvellement nécessite de considérer le taux d'inflation étant donné que le prix d'un équipement ne reste pas stable avec le temps. Ce facteur a aussi besoin d'une hypothèse sur un certain taux d'inflation. Ainsi, si le taux d'inflation est de ( $r$ ) pour cent, alors le coût de l'équipement  $C_n$  après  $n$  années étant donné le coût actuel  $C$ , est :

$$C_n = C (1+r)^n \quad (4.2)$$

#### **4.3.3. Le coût d'achat**

Il devrait inclure les coûts de conversion du véhicule et toutes les taxes ou prélèvements qui s'appliquent à l'achat. Il ne devrait pas inclure les coûts d'immatriculation, ni les assurances qui sont des coûts d'exploitation.

---

<sup>3</sup> Des informations disponibles sur son site web : <http://www.banqueducanada.ca/taux/renseignements-complementaires/feuille-de-calcul-de-linflation/>

#### 4.3.4. Le prix de vente prévu

Aussi appelé valeur de récupération, il correspond au montant que l'entreprise prévoit recevoir à la fin de la durée de vie utile, soit pour l'échanger, soit pour le vendre. En raison de plusieurs facteurs, il peut varier et être déterminé en prenant en considération une partie ou toutes les caractéristiques suivantes (Tecleab, 2002) :

- L'état actuel de l'équipement ;
- Le prix de vente de matériel neuf de qualité similaire ;
- La raison de la vente ;
- Le coût de l'enlèvement ; il peut être en quantité suffisante pour réduire sensiblement la valeur de récupération. Le coût de l'enlèvement dépendra en grande partie sur l'emplacement de l'équipement.
- L'offre et la demande. Dans un marché de vendeurs, l'acheteur doit payer s'il souhaite acquérir l'équipement. Dans un marché d'acheteurs le vendeur est à la merci de l'acheteur.
- Le degré auquel la nature de l'équipement est spécialisée. L'équipement standard, à savoir, celui qui ne change pas rapidement dans sa conception ou dans ses fonctions, peut généralement apporter une valeur de récupération plus élevée que l'équipement plus spécialisé.

En règle générale, la valeur de récupération de l'équipement dépend de son âge et peut être estimé à partir de l'expérience, à travers la consultation de sites qui offrent de valorisations des véhicules ou en utilisant un taux approprié. Une façon de combler le manque de valeurs de revente consiste à utiliser le même modèle que celui dans l'étude menée par Wyrick et Erquicia (2008). Il s'agit d'un modèle de double amortissement par simulation. Selon ce modèle, la valeur de l'actif à la fin de chaque année est donnée par :

$$B_t = P(1 - \frac{2}{n})^t \quad (4.3)$$

$B_t$  : Valeur résiduelle à la fin de l'année  $t$

$P$  : Coût initial de l'actif

$n$  : Nombre total de périodes de dépréciation dans la vie de l'actif

$t$  : Période de temps

#### 4.3.5. Taux d'intérêt

Le taux d'intérêt représente le coût de l'argent. Il permet de calculer le prix qu'il faut payer pour emprunter de l'argent. C'est aussi l'intérêt réel que l'entreprise reçoit sur les fonds déposés dans son compte.

#### 4.3.6. Facteur d'actualisation

Lorsque nous sommes en train d'effectuer une analyse économique avec une période d'évaluation de plus d'un an, il est nécessaire de prendre en compte la valeur temporelle de l'argent. Le pouvoir d'achat du dollar en l'an zéro n'est pas égale au pouvoir d'achat en l'an dix.

Choisir le facteur d'actualisation approprié est essentiel pour produire des résultats précis. Comme la valeur de l'argent change avec le temps, le calcul du coût de remplacement de l'équipement inclut le taux d'intérêt (taux d'inflation pour avoir la valeur actuelle de l'argent à dépenser dans le futur).

Supposons que le taux d'intérêt disponibles sur le marché est  $i\%$ . Au lieu de dépenser une somme  $C$  aujourd'hui nous pouvons obtenir :

$C_1 = C(1 + i)$  un an à partir de maintenant,

$C_2 = C(1 + i)^2$  d'ici deux ans et  $k$  ans à partir maintenant, nous avons :

$$C_k = C(1 + i)^k \quad (4.4)$$

Donc :

$$C = \frac{C_k}{(1 + i)^k}$$

$$C = C_k * V^k \quad (4.5)$$

Où le facteur d'actualisation  $V$  est donné par :

$$V = \frac{1}{1+i}$$

Alors, la formule 4.5 nous permet de trouver le montant  $C$  requis aujourd'hui pour disposer après  $k$  années d'un montant  $C_k$ , à un taux d'intérêt  $i$ .

### 4.3.7. Le facteur d'amortissement

Ce facteur est utilisé pour calculer les acomptes et ajuster les montants en dollars constants. En termes de mathématiques financières, il permet de convertir une valeur actuelle à une suite d'annuités constantes de fin de période. Il est donné par la formule suivante :

$$F = \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} \quad (4.6)$$

À l'aide de l'exemple suivant, la procédure pour le calcul du coût de remplacement d'un véhicule est montrée. Les données initiales sont mises dans le Tableau 4.1.

Taux d'intérêt	$i = 3\%$
Durée de vie	$n=4$ ans
Taux d'inflation	$r = 2,6\%$
Coût d'achat	$C_o = 40\ 000\$$
Prix de vente prévu	$v = 24\ 000\$$

Tableau 4. 1 : Exemple de données nécessaires pour calculer le coût de remplacement d'un véhicule.

Une fois les données identifiées, il convient de déterminer le montant de récupération de capital qui est la somme des fonds mis de côté et du prix de vente du véhicule. Ce montant devrait être suffisant pour remplacer le véhicule à la fin de sa durée de vie. Ce calcul implique l'utilisation d'un facteur d'amortissement. Le facteur d'amortissement est calculé à l'aide de la formule 4.6 :

$$F = \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} = \frac{0,03}{1 - (1 + 0,03)^{-4}} = 0,2690$$

Pour les données du Tableau 4.4, la perte de capital équivaut à la différence entre le coût d'achat et le prix de vente prévu, soit 16 000\$. Les calculs reliés au coût de remplacement d'un véhicule donné sont mis dans les Tableaux 4.2 et 4.3.

FACTEUR D'AMORTISSEMENT	0,2690
Perte en capital (A)	16 000\$
Fonds additionnel mis de côté (B= C-A)	1 899\$
Total mis de côté (C) (Total coût annuel)	17 899\$
Prix de vente prévu (D)	24 000\$
Capital récupéré (E=C+D)	41 899\$

Tableau 4. 2 : Capital récupéré pour l'exemple.

ANNÉE	COÛT ANNUEL	COÛT PAR MOIS
1	$(C_o - v)F = 4304$	359
2	$4304(1+r/100) = 4416$	368
3	$4416(1+r/100) = 4531$	378
4	$4531(1+r/100) = 4649$	387
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
Total mis de côté	17 899	

Tableau 4. 3 : Exemple de coûts de remplacement pour un véhicule donné.

Le Tableau 4.3 précédent indiquerait au gestionnaire qu'il devrait planifier de mettre de côté un montant total de 17 899 \$ pour s'assurer d'avoir les fonds disponibles adéquats pour le remplacement des véhicules à la fin de leur durée de vie opérationnelle. Le coût en capital qui devrait être imputé sur les opérations du véhicule est ajusté chaque année de vie opérationnelle de celui-ci, selon la formule de récupération du capital (calculs dans le Tableau 4.3).

Les coûts d'investissement durant la première année d'exploitation 4 304 \$ ou 359 \$ par mois et ainsi de suite chaque année jusqu'à l'atteinte de durée de vie prévue du véhicule soit la quatrième année. Donc, pour les années subséquentes il n'y a plus de coûts d'investissement pour le véhicule.

Le montant total mis de côté (ajusté pour tenir l'inflation et le taux d'intérêt en compte) plus la valeur de revente du véhicule, signifie que le gestionnaire devrait avoir 41 899\$ à dépenser pour le remplacement d'un véhicule.

### **4.3. La dépréciation**

Il y a plusieurs façons de concevoir la dépréciation. Ici, nous allons la considérer dans le sens de diminution. Ce concept implique que la valeur (valeur de marché ou la valeur pour le propriétaire) d'un actif est calculée à deux dates différentes. La différence est la dépréciation indépendamment de la combinaison de causes pouvant avoir été responsable du changement de valeur.

Il y a plusieurs façons de calculer la dépréciation d'un bien comme une automobile. Afin de la calculer, deux méthodes sont proposées. La première est la méthode de l'amortissement linéaire et la deuxième l'amortissement comptable dégressif.

#### **4.4.1. La méthode de l'amortissement linéaire**

Dans cette méthode, on suppose que le véhicule déprécie d'un pourcentage égal à sa valeur initiale pour chaque année d'utilisation. Le Tableau 4.4 calcule la dépréciation à l'aide de la méthode de l'amortissement linéaire pour le véhicule suivant :

Coût initial : 30 000 \$

On prévoit le conduire pendant quatre ans. Après quatre ans, on compte le vendre à la casse pour 6 000 \$

La dépréciation annuelle avec cette méthode se calcule avec la formule suivante :

$$D_n = \frac{(C_i - V_r)}{n} \quad (4.7)$$

Où :

$C_i$  : est le coût d'achat du véhicule

$V_r$  : est le coût de revente

$n$  : est la durée de vie prévue

Donc, pour notre exemple,

$$D_n = \frac{(30\,000\$ - 6\,000\$)}{4} = 6\,000\$$$

ANNÉE	DÉPRÉCIATION ANNUELLE	VALEUR COMPTABLE EN FIN D'EXERCICE
1	$\frac{(30\,000\$ - 6\,000\$)}{4} = 6000\$$	30 000 \$ - 6 000 \$ = 24 000 \$
2	$\frac{(30\,000\$ - 6\,000\$)}{4} = 6000\$$	24 000 \$ - 6 000 \$ = 18 000 \$
3	$\frac{(30\,000\$ - 6\,000\$)}{4} = 6000\$$	18 000 \$ - 6 000 \$ = 12 000 \$
4	$\frac{(30\,000\$ - 6\,000\$)}{4} = 6000\$$	12 000 - 6 000 \$ = 6 000 \$

Tableau 4. 4: Calcul de dépréciation avec la méthode d'amortissement linéaire.

#### 4.4.2. Amortissement Comptable dégressif

Avec la méthode de l'amortissement dégressif, on suppose que la dépréciation du véhicule est la plus importante au courant des premières années et diminue par la suite.

C'est une méthode courante pour les actifs destinés à des utilisations décroissantes au cours de leurs dernières années de leur vie. Dans cette méthode, un taux d'amortissement donné est appliqué chaque année à la partie restante du coût de l'actif (valeur comptable).

Par exemple, si un taux de 40% est appliqué à un actif qui coûte 30 000\$, le plan d'amortissement est illustré dans le Tableau 4.5. Il est possible d'utiliser la dépréciation comme déduction d'impôt lorsqu'il est utilisé pour le travail.



Une analyse des deux méthodes peut toujours être effectuée si l'entreprise voulait avoir le plus gros montant possible comme déduction d'impôt ou pour obtenir une valeur résiduelle du véhicule plus importante.

ANNÉE	DÉPRÉCIATION ANNUELLE	VALEUR COMPTABLE EN FIN D'EXERCICE
1	$30\,000 \$ \times 0.40 = 12\,000$	$30\,000 \$ - 12\,000 \$ = 18\,000 \$$
2	$(30\,000 \$ - 12\,000 \$) \times 0.40 = 7\,200 \$$	$18\,000 \$ - 7\,200 \$ = 10\,800 \$$
3	$(18\,000 \$ - 7\,200 \$) \times 0.40 = 4\,320 \$$	$10\,800 \$ - 4\,320 \$ = 6\,480 \$$
4	$(10\,800 \$ - 4\,320 \$) \times 0.40 = 2\,592 \$$	$6\,480 \$ - 2\,592 \$ = 3\,888 \$$

Tableau 4. 5: Calcul de dépréciation avec la méthode d'amortissement dégressif.

La dépréciation est l'un des facteurs les plus pris en compte lors de l'acquisition de véhicules par les flottes commerciales et industrielles composées principalement de véhicules légers tels que les camionnettes et les berlines (Bilbona, 2003).

#### 4.4. L'analyse du coût sur le cycle de vie

L'une des plus importantes considérations, dans l'élaboration d'un programme de remplacement de flotte, est la compréhension du concept de coût sur le cycle de vie. Le cycle de vie comprend tous les événements liés au véhicule. La première phase consiste à évaluer la nécessité du véhicule et la dernière constitue la vente, l'élimination ou la réaffectation du véhicule. La Figure 4.1 montre en détail les phases du cycle de vie d'un véhicule avec une légère modification à partir du travail fait par (Bilbona, 2003).

L'objectif principal de l'analyse du coût sur le cycle de vie est de minimiser le coût total de possession. (Wyrick et Erquicia, 2008).

Il y a deux principaux conflits dans l'établissement de la vie économique des biens d'équipement au fur et à mesure du vieillissement de l'actif. L'augmentation des coûts

d'opérations et d'entretien tandis que les amortissements ont tendance à diminuer. Lorsque la somme de ceux-ci et de tous les autres coûts de possession et d'exploitation atteignent un minimum, la vie économique est atteinte. La Quantification et l'analyse de ces coûts est connu sous le nom d'analyse du cycle de vie économique.

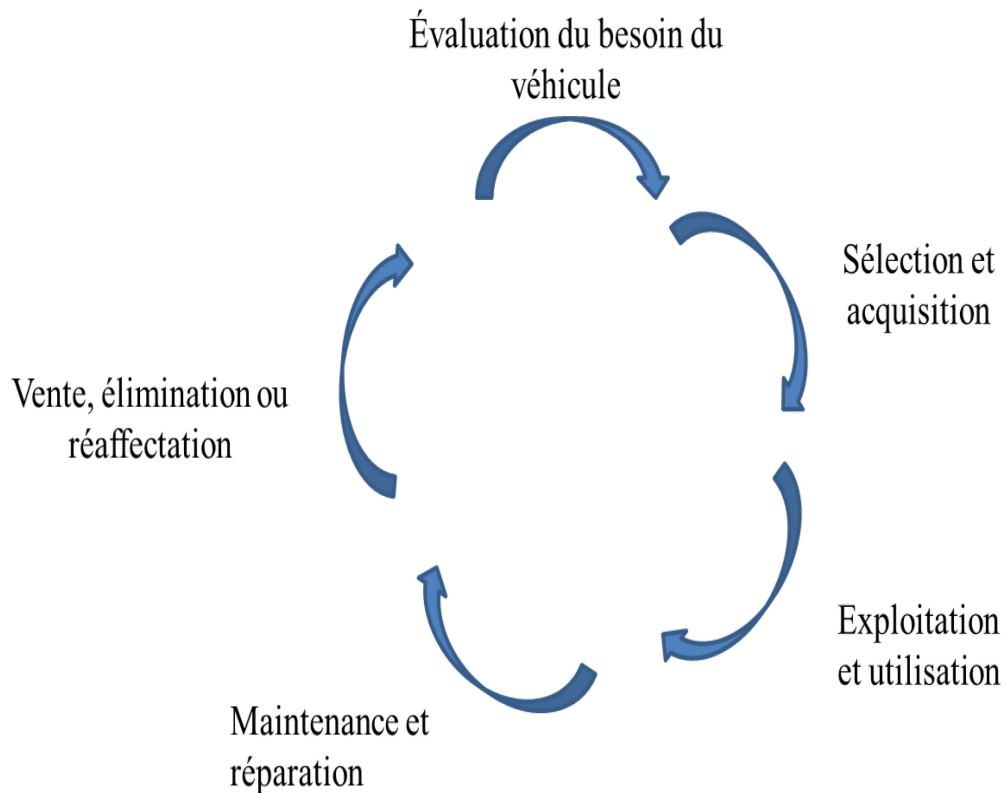


Figure 4. 1: Phases du cycle de vie d'un véhicule.

L'analyse du coût sur le cycle de vie (LCC) prend en compte tous les coûts associés au cycle de vie d'un actif et peuvent inclure (Jardine, 2011) :

- Recherche et développement ;
- Fabrication et installation ;
- Exploitation et entretien ;
- Système de retraite et élimination de l'équipement.

L'une des principales hypothèses implicites dans l'analyse du cycle de vie est que les coûts de maintenance futurs peuvent être prévus sur la base historique de coûts de maintenance. Cette analyse peut être appliquée de différentes façons comme un outil de gestion en remplacement de la flotte (Bilbona, 2003).

La première, l'analyse peut être utilisée pour développer des lignes directrices par catégorie de véhicule basées sur des critères comme l'âge ou le kilométrage avant que les véhicules ne soient mis en service, ce qui s'appelle la sélection des nouveaux véhicules. Deuxièmement, l'analyse peut être utilisée pour évaluer les véhicules après avoir été mis en service afin de déterminer s'ils devraient poursuivre pour un an de plus ou être remplacés. Troisièmement, l'analyse peut être appliquée afin d'évaluer l'économie des programmes de reconstruction majeurs des unités d'équipement pour évaluer s'il est plus rentable de reconstruire l'unité et de prolonger sa durée de vie ou de la remplacer par une nouvelle.

Les paramètres typiques pris en compte dans l'analyse du coût du cycle de vie comprennent les éléments suivants : les coûts d'acquisition, la valeur de récupération estimée, le coût de l'argent, les coûts d'entretien, les coûts d'exploitation, les coûts de carburant, l'âge ou kilométrage à ce jour, le coût de temps d'arrêt et le coût d'obsolescence (Bilbona, 2003).

En faisant l'analyse de rentabilité pour des flottes plus écologiques, les gestionnaires doivent prendre en compte la totalité des coûts du cycle de vie de ces investissements. Contrairement à la comptabilisation typique des coûts du cycle de vie, les entreprises peuvent considérer un plus large éventail de facteurs, tels que (Federation of Canadian Municipalities (FMC), 2010) :

- À partir de quoi les produits sont fabriqués ?
- D'où proviennent les produits ?
- Qui les fabrique ?
- Comment finiront-ils par être éliminés ?
- Quel achat doit être fait ?

En d'autres termes, la comptabilité du cycle de vie comprend tous les coûts économiques, environnementaux et sociaux liés à un produit ou un service sur toute sa vie. Le graphique de la Figure 4.2 (Bilbona, 2003) représente un exemple d'analyse du cycle de vie économique de camions légers. Pour cet exemple, l'entretien, la dépréciation, l'intérêt, le coût de remplacement et le coût de temps d'arrêt ont été convertis à leurs valeurs présentes, ils sont amortis sur des différentes vies pour voir où la vie produit le plus faible coût total.

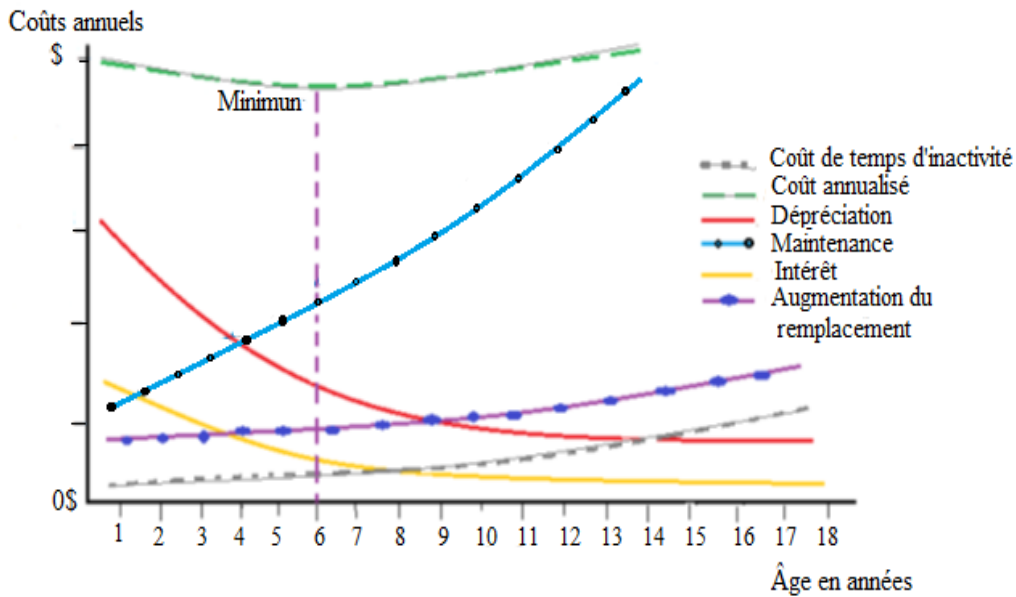


Figure 4. 2: Exemple d'analyse du cycle de vie économique de camions légers.

En outre, la courbe de coût total tend à être asymptotique ou plate et non pas comme la courbe en "U" souvent présentée dans les livres (Bilbona, 2003). Par conséquent, le jugement est nécessaire dans l'interprétation des résultats et des analyses de sensibilité devraient être déployées pour évaluer l'impact de changements dans les hypothèses. Selon l'exemple de l'analyse du coût du cycle de vie dans le graphique précédent, la durée de vie qui produit le plus bas coût total a été déterminée à 6 ans.

## 4.5. Analyse des coûts sous différents scénarios de renouvellement

Lorsque le moment de faire le renouvellement arrive, les gestionnaires peuvent comparer les coûts de la flotte sous différents scénarios de renouvellement pour choisir celui qui convient le mieux. Ceci est fait en analysant des variables comme le coût de carburant, les coûts annuels de maintenance et de réparation par véhicule, la dépréciation annuelle, la valeur marchande finale des actifs ou et le comportement du coût de remplacement. Pour faire l'analyse des coûts sous différents scénarios de renouvellement, la manière plus simple consiste à comparer le scénario de flotte renouvelée avec le modèle proposé contre le scénario de flotte actuelle, ou statu quo. Les Figures 4.3 et 4.4 montrent des exemples des coûts de renouvellement sous ces deux scénarios. Tel que vu à la section 4.2, le coût de remplacement indique le montant mis de côté pour s'assurer des fonds adéquats pour faire le remplacement du véhicule. Ce montant doit être ajusté en dollars constants pour chaque année subséquente à l'opération des véhicules. (Ministry of Transports, 2006).

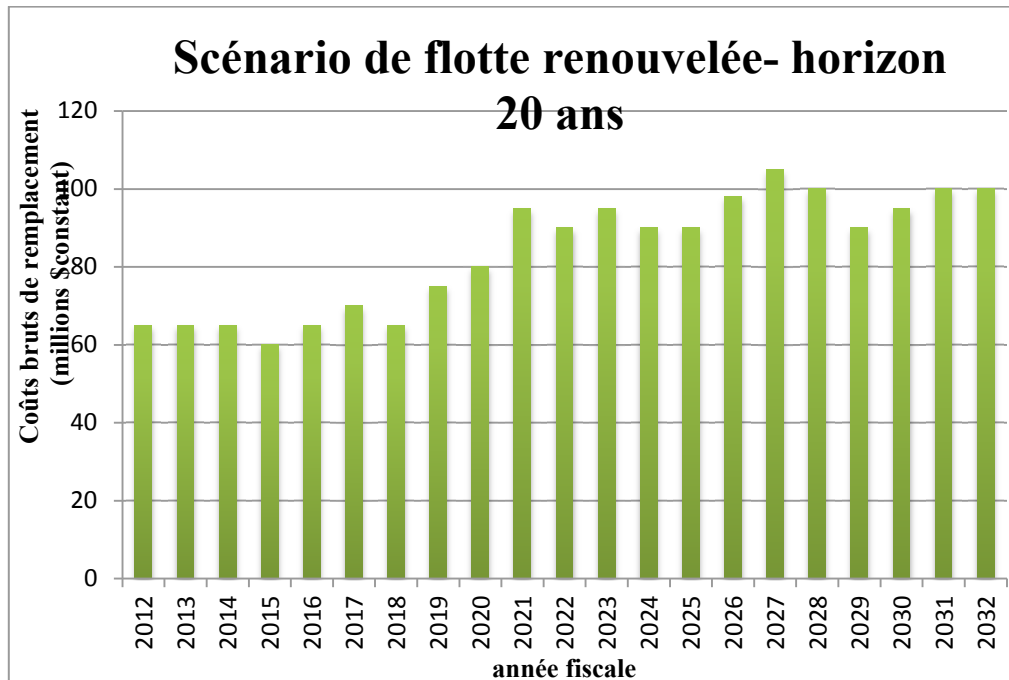


Figure 4. 3 : Exemple de coûts de remplacement de flotte sous le scénario de flotte renouvelée.

L'exemple hypothétique de la Figure 4.3 suggère que l'existence d'un plan de remplacement à long terme permet d'avoir des coûts de remplacement étalés sur plusieurs années, au lieu de réaliser de gros investissements au moment donnée comme illustré dans l'exemple de la Figure 4.4.

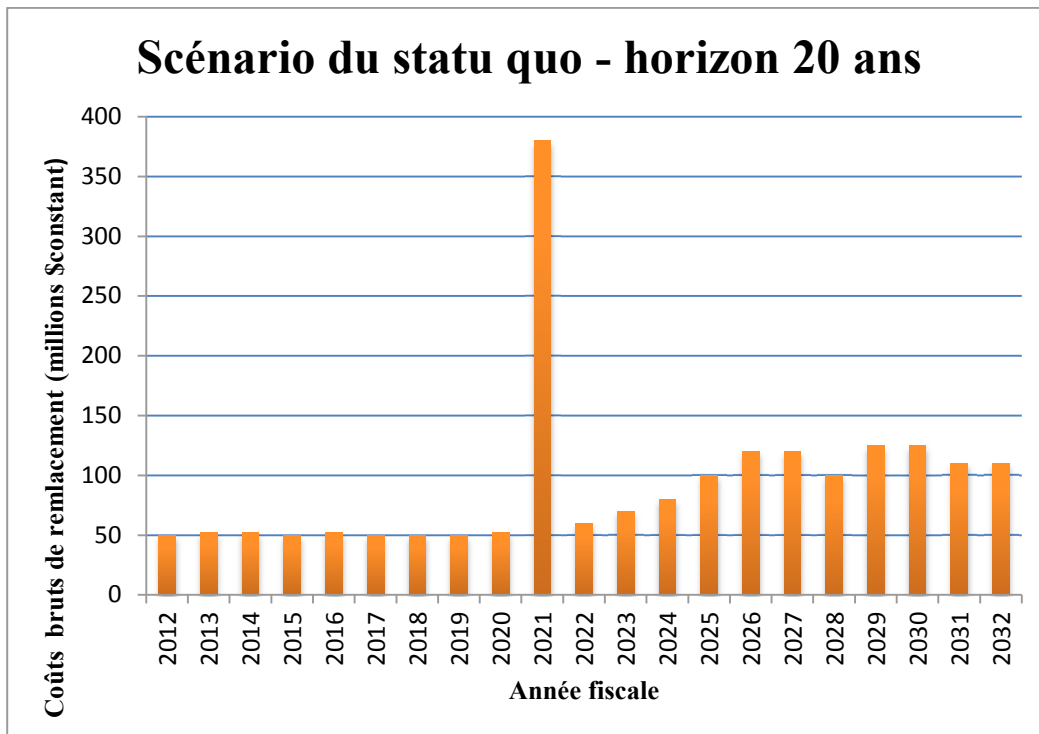


Figure 4. 4 : Exemple de coûts de rempacent de la flotte sous le scénario du statu quo.

Une façon simple de calculer les économies potentielles est de faire la différence des coûts entre les deux scénarios.

#### 4.6. Alternatives pour financer le renouvellement

Idéalement, la gestion de la flotte devrait mettre en place de mécanismes de financement du renouvellement sur une base annuelle. Il devrait y avoir des fonds de remplacement mis de côté pour répondre aux besoins de remplacement de l'actif et ainsi diminuer la pression sur les contraintes de budget annuelles et pour permettre le lissage de flux de trésorerie (Bilbona, 2003).

Lorsque les entreprises décident de louer leurs flottes, elles peuvent intégrer le mécanisme de financement du remplacement. Une partie de leur paiement de location est consacré à l'amortissement des coûts des immobilisations de véhicules. En effet, l'acquisition du véhicule est amortie ou divisé sur la durée du bail. Lorsque le bail est renouvelé pour le véhicule de remplacement, le processus d'amortissement recommence. Si le bail est à durée indéterminée, les différences entre la valeur comptable et la valeur de récupération réelle ou résiduelle peuvent être automatiquement créditées ou débitées sur le compte. En revanche, pour les flottes achetées, les valeurs de récupération ne sont pas nécessairement créditées sur le département détenant.

Même si la location peut rendre ces crédits plus transparents, la location n'est pas toujours la meilleure option pour l'opération d'une flotte particulière. Dans le cas où la location n'est pas conseillée, les achats en versements peuvent être utilisés à la place pour financer les acquisitions de la flotte sur plus d'un an. En conséquence, les décideurs doivent faire l'évaluation des différentes options de financement.

Choisir le type de financement de capital est important parce qu'année après année les exigences de capital peuvent varier dramatiquement dépendamment du type de financement utilisé. Les besoins de fonds sont une clé déterminante du montant d'argent que les entreprises consacrent au remplacement de la flotte. Le montant alloué au remplacement détermine s'il s'agit d'une jeune ou d'une vieille flotte.

Il existe sur le marché une vaste gamme de possibilités de financement qui permettent au gestionnaire de répondre aux différents besoins du parc. Chacune de ces options offre ses avantages et inconvénients. Les principales alternatives de financement sont :

- L'autofinancement ou allocations directes d'argent année après année ;
- Le crédit bancaire ou l'emprunt d'argent des institutions financières en incluant les unités de financement des constructeurs automobiles ;
- Le crédit-bail (leasing) c'est-à-dire la location auprès d'une compagnie de leasing, banque ou compagnie commerciale ;

- La location financière ou l'accumulation de réserves d'argent dans un fond de remplacement de flotte, souvent à travers l'usage d'un contrat de location interne ou programme de retour de coûts de charge ;

L'analyse des différentes alternatives permet de déterminer les avantages et les inconvénients de chaque alternative afin de faire un choix éclairé sur l'alternative qui satisfait le mieux les besoins de renouvellement. Le Tableau 4.6 montre les différentes options de financement avec les avantages et inconvénients qui leurs sont propres.

ALTERNATIVES DE FINANCEMENT	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Autofinancement	Propriété du véhicule dès règlement de la facture d'achat ; Possibilité de vendre le véhicule à tout moment ; Augmentation des actifs immobilisés de l'entreprise ;	Diminution de la trésorerie de la société limitant les capacités de renouvellement du parc. Valeur de revente du véhicule liée à l'évolution du marché de l'occasion et à l'état de celui-ci, donc la dépréciation n'est pas bien maîtrisée.
Crédit bancaire	Propriété du véhicule dès la levée du nantissement ; Augmentation des actifs immobilisés de l'entreprise ; Possibilité de vendre le véhicule à tout moment (si le véhicule non gagé).	Diminution de la capacité de financement de l'entreprise ; Augmentation des dettes auprès d'établissement de crédit ; Valeur de revente du véhicule liée à l'évolution du marché de l'occasion et à l'état de celui-ci, donc la dépréciation n'est pas bien maîtrisée.
Crédit-bail ou leasing	Inscription de la totalité du financement dans la rubrique crédit-bail Paiement d'un premier ou d'un dernier loyer majoré ; Possibilité de rachat du véhicule en fin de financement (Valeur résiduelle prédéfinie) ;	Le véhicule reste en propriété de l'organisme financier ; Impossibilité de vendre le véhicule sans accord du propriétaire ; Diminution de la capacité de financement de



	Ré-immatriculation du véhicule au frais du nouveau propriétaire.	l'entreprise ;
Location financière	Véhicule propriété exclusive de l'organisme financier, Il n'y a pas de diminution de la capacité de financement de l'entreprise. Ce mode d'acquisition et de financement est parfois assorti d'un contrat d'entretien.	Impossibilité légale de vendre ou de racheter le véhicule même au terme du contrat de financement ; Ce contrat ne concernent généralement que le châssis du véhicule et excluent la carrosserie, les équipements annexes : grue, bras, pneumatiques entre autres.

Tableau 4. 6 : Différentes alternatives de financement.

Selon l'information contenue dans ce Tableau, les avantages et les inconvénients portent principalement sur :

- La propriété du véhicule,
- Le compromis de la capacité d'endettement de l'entreprise (soit sa diminution ou son augmentation) ;
- La possibilité de vendre ou non le véhicule ;
- La facilité à déterminer la dépréciation du véhicule en raison de l'évolution du marché d'occasion et de l'état de celui-ci ;
- L'augmentation des actifs immobilisés de l'entreprise ;
- Les services compris.

D'autres options de financement découlent de celles qui viennent d'être mentionnées : l'emprunt d'argent des investisseurs à travers les émissions de bons, ou le bail d'entretien complet. Les dites options peuvent être à la portée de l'entreprise.

Une fois les différentes alternatives de financement choisies, l'analyste doit faire une comparaison en termes financiers pour identifier la plus viable. Le Tableau 4.7 illustre à titre d'exemple quatre alternatives de financement comparées sous différentes périodes.

Ainsi, les calculs réalisés permettent d'établir l'alternative de financement la moins coûteuse pour l'exemple montré qui correspond à l'alternative C.

<b>MOYENNE ANNUELLE</b>	<b>ANNÉE 1</b>	<b>ANNÉE 1-5</b>	<b>ANNÉE 1-10</b>
Alternative de financement A	51.6 M	52.8 M	48.9 M
Alternative de financement B	52.5 M	52.8 M	47.2 M
Alternative de financement C	4.9 M	15.9 M	31.5 M
Alternative de financement D	10.3 M	33.8 M	45.7 M
<b>Total</b>	<b>Année 1</b>	<b>Année 1-5</b>	<b>Année 1-10</b>
Alternative de financement A	51.6 M	256.4 M	515.4 M
Alternative de financement B	52.5 M	256.6 M	528.3 M
Alternative de financement C	4.9 M	93.2 M	340.7 M
Alternative de financement D	10.3 M	158.6 M	425.9 M

Tableau 4. 7 : Exemple de besoins de fonds de renouvellement selon différentes alternatives de financement.

#### **4.7. Les projections financières**

Un plan de financement du remplacement du parc à long terme est nécessaire parce que les besoins de fonds varient d'une année à l'autre et les fonds disponibles tendent à être constants.

Développer un plan à long terme qui mesure les coûts du remplacement est important pour quantifier le retard de besoins de remplacements de véhicules, pour comprendre la

magnitude des coûts futurs de remplacement, pour fournir le fondement de l'élaboration d'une analyse de rentabilisation pour justifier l'augmentation des dépenses de remplacement et pour appuyer l'évaluation des alternatives de financement de capital.

Afin de prévoir l'avenir en matière de fonds nécessaires pour financer les véhicules, la gestion doit d'abord avoir une certaine base d'informations sur l'inventaire courant de la flotte. Cela peut sembler aller de soi, mais il convient de rappeler quelles sont les informations nécessaires pour une planification adéquate du financement.

Un inventaire à jour de la flotte pour la planification du financement devrait comprendre au moins les éléments suivants (Bilbona, 2003):

- Numéro d'identification des véhicules ;
- Marque et modèle ;
- Localisation et affectation ;
- Classe ;
- Le coût d'acquisition ;
- Modèle (ans) ;
- Âge depuis la mise en service ;
- Coûts actualisés de maintenance et de réparation.

A partir de ces données, la gestion peut prévoir des besoins de fonds sur un horizon de planification, par exemple de 10 ans. Il est conseillé de faire des analyses de sensibilité afin d'évaluer l'impact des changements dans les hypothèses sur les besoins de financement.

Ces prévisions seront basées sur des paramètres tels que :

- La durée de vie prévue ;
- Les critères de remplacement ;
- Les coûts de remplacement projetés sur un horizon, par exemple 10 ans ;
- La valeur de récupération prévue ;

- Le carnet de commandes de remplacement ;
- Le coût de remplacement total.

À partir des projections, on peut faire une analyse de la valeur actualisée des flux de trésorerie afin de comparer les coûts et les avantages des autres montants de financement de remplacement et les sources de fonds. Ces analyses permettent d'identifier une importante arriérée de financements ou remplacements différés. Dans ces situations, il peut être irréaliste de financer cet arriéré en une seule fois. Au lieu de cela, le carnet de commandes peut-être financé sur une longue période de temps (Bilbona, 2003).

#### **4.8. Erreurs communes dans les prévisions**

Les observations de la pratique des gestionnaires et de la littérature publiée à ce sujet indiquent quatre erreurs qui semblent survenir plus fréquemment lors d'un remplacement à but économique (Tecleab, 2002) :

La première erreur apparaît lorsque la valeur commerciale estimée de l'actif est incorrecte et donne lieu à un coût d'amortissement positif qui ne peut pas se récupérer. L'analyste essaie alors de la corriger en considérant l'excédent de la valeur comptable actuelle sur la valeur nette de réalisation de l'ancien actif comme un ajout à l'investissement dans le nouvel actif. Cette erreur augmente le coût apparent associé au nouvel actif en évitant ainsi les remplacements qui sont vraiment économiques. Ce coût d'amortissement doit être chargé au compte de capital non récupéré et est donc nécessaire de l'exclure de la comparaison économique.

La deuxième erreur se produit dans la comparaison économique lorsque l'ancien actif est analysé sur la base de son coût initial, plutôt que sur sa valeur actuelle nette de réalisation. De la même façon, des erreurs sont produits à cause d'une estimation inappropriée des coûts annuels d'opération, de la valeur résiduelle attendue et de la vie utile restante. Ces valeurs peuvent être différentes des données originales, pourtant l'information initiale n'est pas applicable à l'évaluation économique actuelle.

La troisième, lorsque les coûts indirects (charges) sont attribués dans le système de comptabilité des coûts en proportion de coûts directs (généralement au prorata du coût de travail direct), en supposant, sans enquête, qu'une réduction des dépenses directes effectuera une économie correspondante en dépenses indirectes. Cette erreur résulte de l'incapacité à comprendre clairement la nature de la comptabilité des coûts.

La dernière, Dans les cas où le nouvel actif proposé fournit plus de capacité que l'ancien, comparer les coûts unitaires calculés réalisables uniquement avec le fonctionnement à pleine capacité, plutôt que de comparer les coûts réels d'opération avec la demande réelle. Ceci est simplement un usage irréaliste des coûts unitaires qui tend à favoriser l'actif avec le surplus de capacité, et est donc favorable au remplacement alors qu'il n'est pas vraiment rentable.

#### **4.9. Principales hypothèses faites dans les prévisions**

Tant pour le modèle de remplacement que pour le programme de financement, il faut tenir compte des hypothèses qui peuvent conditionner les résultats. Cette section détaille les principales hypothèses retenues pour la présentation des informations contenues pour la détermination des coûts de remplacement, des coûts d'exploitation, des prévisions d'exploitation nécessaires, des dépenses en capital, des valeurs des actifs, des charges d'amortissement, etc. Ces hypothèses peuvent figurer dans un plan de renouvellement d'un parc et sont présentées à partir des travaux de Maheshwari et Credle (2008), et (Narrabri Shire Council, 2011). Elles se rapportent aux éléments suivants :

- Si les coûts des assurances sont ignorés ou considérés ;
- Si les implications des taxes sont considérées ;
- Les périodes de dépréciation des véhicules ;
- Le coût de maintenance régulier peut être considéré similaire à tous les véhicules ;
- L'exactitude des données concernant l'inventaire de la flotte ;
- La prévision des temps de service de chaque véhicule (par exemple, s'il est gardé au moins pendant trois ans jusqu'à ce que la valeur en livres devienne zéro) ;

- La considération de la tendance des besoins totaux de véhicules (croissante ou décroissante) ;
- Si l'âge de retrait du véhicule est normalement distribué avec une moyenne et une déviation déterminées.
- Prévion du pourcentage de diminution de l'effcience qu'une maintenance majeure occasionne sur le travailleur ;
- Prévion du temps que le véhicule est mis hors de service en raison de la maintenance de routine.
- Prévion d'un montant moyen consacré aux défaillances catastrophiques en incluant le temps de supervision, la perte d'effcience, temps de changement d'outillage, le temps de réapprovisionnement de vieux véhicules et de reconditionnement des nouveaux.
- L'exactitude des valeurs estimées pour les coûts de remplacement des véhicules ;
- L'état de l'analyse du parc, si elle est déjà terminée ou bien si elle est encore à entreprendre.
- Si l'entreprise compte continuer à financer l'entretien de la flotte et ses projets de renouvellement à un même rythme dans les prochaines années ; si tel est le cas, prévoir de modifier les prévisions de la valeur des immobilisations pour l'avenir.
- Les prévisions de dépenses de renouvellement à venir devraient augmenter au fil du temps en raison du vieillissement du parc ;
- Si l'entreprise décide de financer le renouvellement du parc.

## 5. Systèmes de gestion

Un système de gestion est une structure éprouvée pour la gestion efficace des stratégies, processus et procédures en vigueur dans une organisation.

Les entreprises sont aujourd'hui confrontées à de nombreux défis tels que l'augmentation de la rentabilité, la compétitivité dans un contexte de mondialisation et d'évolution ainsi que la croissance rapide en termes technologiques. Face à ces défis, elles doivent faire preuve d'adaptabilité pour améliorer leur productivité et, en conséquence, avoir une place importante dans le marché tout en répondant aux demandes des clients.

Au fur et à mesure que la flotte vieillit, sa fiabilité et sa capacité à répondre aux demandes des clients sont affectées. Comme conséquence du vieillissement, les coûts d'entretien augmentent, les infrastructures dans leur ensemble se détériorent et nécessitent un investissement considérable. En même temps, les gestionnaires doivent répondre aux changements technologiques rapides et en progression accélérée à mesure que la flotte passe des structures traditionnelles aux structures modernes.

Trouver un compromis entre ces impératifs et les diverses contraintes pesant sur le gestionnaire peut s'avérer difficile, voire décourageant. C'est là qu'interviennent les systèmes de gestion afin de permettre le développement du potentiel de l'entreprise.

Un système de gestion efficace peut aider les gestionnaires à promouvoir l'innovation, à un meilleur décodage du marché, à la réduction des coûts, à l'amélioration de la productivité et de l'efficacité et à la gestion des risques sociaux, environnementaux et financiers.

Enfin, il peut augmenter la satisfaction des clients et des partenaires tout en préservant la marque et l'image de l'entreprise. En mettant en œuvre un système de gestion éprouvé, l'organisation peut enrichir en permanence sa mission, ses stratégies, ses activités et son niveau de service.

Cette section porte sur l'ensemble des notions étroitement liées dans un système global pour garantir l'efficacité de l'opération de la flotte. Les notions qui aident à atteindre ce but

sont relatives, d'abord, au système de gestion de la maintenance, conçu pour répondre aux demandes des clients et faire face au vieillissement des véhicules. Ensuite, les systèmes d'information intégrés permettent aux gestionnaires de surveiller le rendement réel de la flotte afin d'effectuer des améliorations constantes de la gestion. Finalement, la gestion des véhicules usagés traite essentiellement de la problématique des véhicules en fin de vie et de la détermination de la quantité optimale d'élimination.

## 5.1. Système de gestion de la maintenance

La gestion de la maintenance intègre quatre niveaux de gestion, soit la gestion des objectifs de la maintenance, la gestion de ressources, la gestion de l'exécution des interventions et l'évaluation des performances. Ainsi, pour configurer un système de gestion, il importe d'avoir une approche systémique à l'aide de flux d'information qui relient ces 4 niveaux de gestion (Najahi, 2003).

Les flux d'information mettent en évidence la structure hiérarchique des éléments de ce système. La configuration de ce système est présentée à la Figure 5.1 (Najahi, 2003).

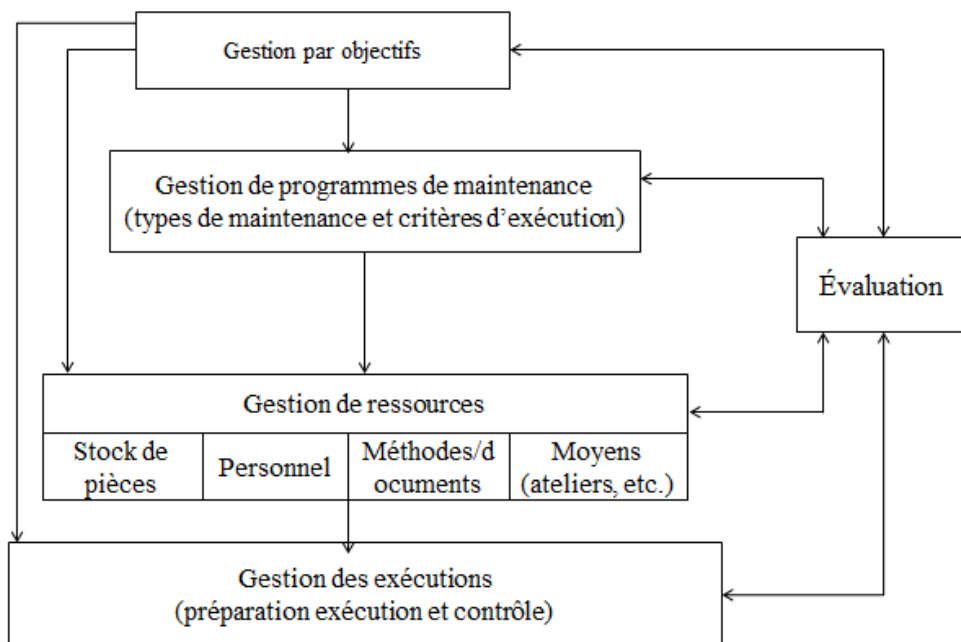


Figure 5. 1 : Configuration du système de management de la maintenance.



Le premier niveau de gestion comprend la définition et la formulation des objectifs, la définition des responsabilités et la désignation des responsables. Le deuxième niveau, soit la gestion des programmes de maintenance, fait référence aux types de maintenance et leurs critères d'exécution. Le troisième niveau réfère à la gestion des ressources comprend d'abord les méthodes et documents (plans, dessins etc.), la gestion des pièces de rechange (nombre de pièces retournées, retard de livraison, quantités à commander, homologation des fournisseurs etc.), le personnel interne et en sous-traitance et, finalement les moyens pour réaliser les tâches de maintenance (installations, ateliers, outillage, transport, manutention, communication, etc.).

Le dernier niveau, l'exécution des travaux de maintenance, comprend la préparation, la planification et l'ordonnancement des travaux, l'exécution et le contrôle des réalisations.

Chacun des quatre niveaux requiert de l'évaluation. Elle comprend des indicateurs, l'analyse des coûts et des audits ainsi que le diagnostic de maintenance.

La mise en œuvre d'une approche intégrée de gestion de maintenance a pour but d'assurer la continuité du service, l'allocation optimale des technologies différentes, d'accroissement de la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité des flottes, ceci afin d'optimiser les performances et minimiser les ressources d'exploitation.

Cette section explore les différentes stratégies et les outils nécessaires pour tirer profit des décisions de maintenance qui ont un étroit rapport avec le renouvellement d'une flotte. En particulier sont traités les notions de gestion de la maintenance qui comprennent les concepts de base, les avantages d'un système de gestion, les objectifs et les activités, les outils de gestion et d'optimisation, la stratégie de mise en œuvre d'un système de gestion, le contrôle et la mesure de la performance, pour finir avec les applications qui font référence aux concepts de maintenance productive totale (TPM), la maintenance basée sur la fiabilité et la maintenance assistée par ordinateur.

### **5.1.1. Concepts de maintenance et de fiabilité**

Cette section introduit les concepts indispensables pour étudier la maintenance et la fiabilité dans son ensemble avec les différentes notions qui en découlent.

#### **5.1.1.1. Maintenance**

La maintenance, selon la norme AFNOR NF X 60010, est définie comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Ces actions sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management (Zwingelstein, 2009). Une fonction requise est une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné.

Une grande partie du mandat de maintenance est de s'assurer que le système est fiable (Jardine, 2011). Pour y parvenir, il est nécessaire d'identifier les composants critiques susceptibles de tomber en panne et de les remplacer de manière préventive.

Il y a différents types de maintenance. Cette classification est basée sur les travaux de (Najahi, 2003) et (Soro, 2011). Selon les besoins, la maintenance peut être corrective, préventive ou améliorative.

La maintenance corrective est celle exécutée après la détection d'une panne et destinée à remettre un bien défaillant en état de fonctionnement.

La maintenance préventive est exécutée à intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien dont la conséquence immédiate est l'amélioration de la fiabilité d'un système (Jardine, 2011). Outre cet objectif, la maintenance préventive cherche à augmenter la durée de vie optimale de l'actif. La maintenance préventive se résume à des actions entreprises sur un système en condition de fonctionner et qui sont effectuées afin de le garder dans des conditions de fonctionnement désirées. Idéalement, la maintenance préventive est un travail de réparation qui est identifié et géré à travers un système de gestion de la maintenance (Narrabri Shire Council, 2011).

La maintenance préventive systématique est exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. Elle inclut les actions de maintenance requises par les dispositions légales et/ou réglementaires ainsi que la planification formelle, la description claire et précise du travail à effectuer (remplacement des roulements, lubrification, changement de filtres, etc.) et l'enregistrement du travail accompli. Ce type de maintenance s'applique à des mécanismes de dégradation dont l'évolution est globalement connue. La maintenance préventive systématique se fait suivant un échancier.

La maintenance préventive conditionnelle consiste à identifier et mettre sous surveillance les points faibles des équipements. Une fois que le seuil de dégradation est franchi, une action de maintenance est entreprise.

La maintenance préventive prévisionnelle ou prédictive est la maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien pour permettre de retarder, de planifier ou de décider du meilleur moment pour entreprendre une action de maintenance (analyse vibratoire, thermographie, analyse des lubrifiants, etc.) Pour suivre la tendance de la dégradation, la surveillance peut être périodique ou continue. La maintenance prédictive est de plus en plus préconisée puisque les coûts associés avec l'augmentation de la fréquence de défaillance, en raison de la forte demande et les contraintes budgétaires, nécessitent des inspections proactives et des mesures d'entretien (Wyrick et Eseonu, 2008).

La maintenance améliorative consiste à intervenir sur un équipement pour limiter la maintenance préventive et supprimer la maintenance corrective.

La Figure 5.2 adaptée de (Les eaux, 2010), montre les liens entre les différents types de maintenance.

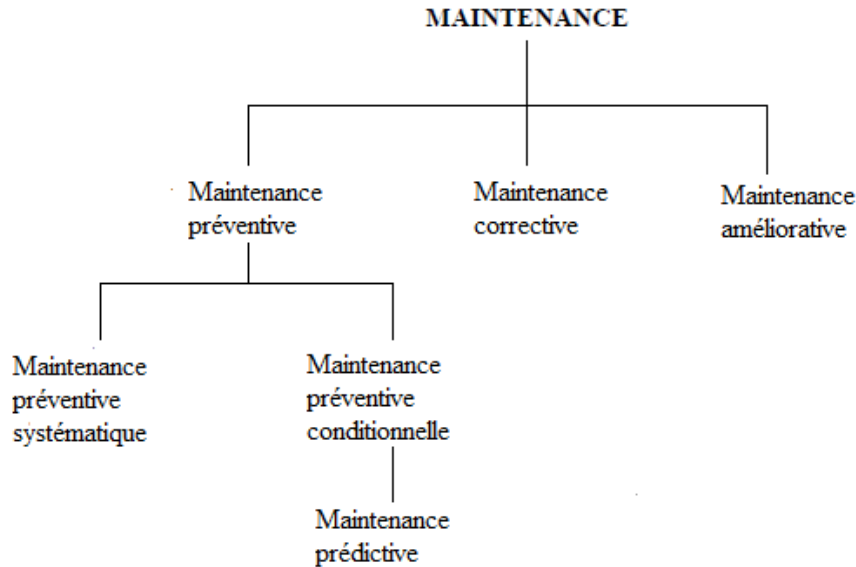


Figure 5. 2 : Types de maintenance.

Le concept de maintenance implique d'étudier celui de sûreté de fonctionnement puisque les activités de maintenance sont destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement.

#### 5.1.1.2. La fiabilité

La fiabilité est un des principaux attributs de la sûreté de fonctionnement. La mise en œuvre de la fiabilité a pour objectif d'étudier, de caractériser et de mesurer la défaillance des systèmes afin d'améliorer leur utilisation opérationnelle. Un système est un ensemble d'éléments interdépendants orientés vers la réalisation d'une fonction. Il peut être subdivisé en sous-systèmes, en composants et en éléments.

On distingue plusieurs types de fiabilité (Zwingelstein, 2009) à savoir :

- La fiabilité opérationnelle (observée ou estimée) déduite de l'analyse des données obtenues à partir des conditions d'exploitation normale.
- La fiabilité prévisionnelle (prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et obtenue à partir d'un modèle mathématique connaissant la fiabilité estimée de ses composants.

- La fiabilité extrapolée déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes ;
- La fiabilité intrinsèque ou inhérente qui découle directement des paramètres de conception, mesurée au cours d'essais spécifiques effectués selon un protocole d'essais bien défini.

La fiabilité d'un système peut se définir à partir des éléments suivants :

- Le taux de défaillance ;
- Le temps de bon fonctionnement (durée de vie du système);
- Le temps moyen de bon fonctionnement (MTBF : Mean Time Between Failure) ;
- Le temps moyen jusqu'à la première défaillance (MTFF : Mean Time to First Failure).

La fiabilité, notée communément  $R(t)$ , traduit le caractère aléatoire de l'accomplissement de la fonction d'un système, conformément à ses spécifications sur une période d'utilisation  $t$ . Elle est définie par :

$R(t) = P(E \text{ non défaillante sur la durée } [0, t], \text{ en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant } t = 0).$

Si  $T$  désigne la durée de vie du système, alors la fiabilité  $R(t)$  est la probabilité que le système ne tombe pas en panne dans l'intervalle  $[0, t]$ .

Ce qui peut s'exprimer par :

$$R(t) = P(T > t) \quad (5.1)$$

Une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonction(s) requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques (Zwingelstein, 2009).

Le taux de défaillances, ou taux de panne, désigné par  $r(t)$ , représente la probabilité conditionnelle de la défaillance d'un équipement entre  $t$  et  $t + \Delta t$  étant donné qu'il est en opération au temps  $t$  (Aït-Kadi, 2011) :

$$r(t)dt = \frac{f(t)dt}{R(t)} \quad (5.2)$$

La durée de vie moyenne ou la moyenne des temps entre les défaillances, ou la moyenne des temps de bon fonctionnement nommé MTBF (équivalent au Mean Time Between Failures) d'un système ayant une fiabilité  $R(t)$  est donnée par l'expression :

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (5.3)$$

Le temps moyen jusqu'à la première défaillance (MTTF : Mean Time to [first] Failure), est une grandeur moyenne associée à la fiabilité et est donnée par (Zwingelstein, 2009) :

$$MTTF = \int_0^{+\infty} R(t)dt \quad (5.4)$$

Cette mesure est souvent utilisée pour les systèmes non réparables. Dans ce cas (Monchy, 2003) :

$$MTTF = MTBF \quad (5.5)$$

Pour les systèmes réparables, le MTTF est un indicateur de qualité. Le premier temps jusqu'à la première défaillance TTF est à intégrer à la collecte des temps de bon fonctionnement TBF.

Pour un système qui occupe deux états (état d'opération et état de défaillance) et dont la transition d'un état à un autre s'effectue selon une loi de probabilité connue, la fonction de fiabilité est la probabilité que sa durée de vie  $T$  soit strictement supérieure à  $t$ . L'expression de la fiabilité s'écrit :

$$R(t) = Pr\{T > t\} = \int_t^{\infty} f(x)dx \quad (5.6)$$

Le système ne pouvant occuper que deux états peut être représenté par la Figure 5.3 (Aït-Kadi, Cours de fiabilité des systèmes. , 2011).

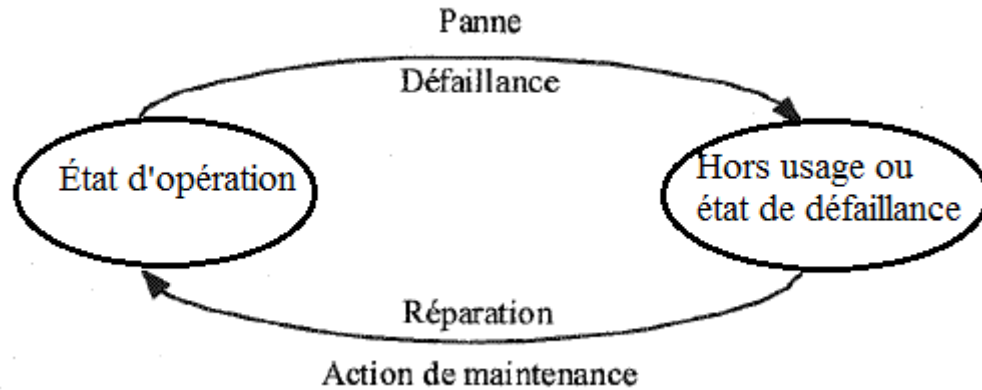


Figure 5. 3: Diagramme de transitions.

$f(\cdot)$  étant la fonction de densité associée aux durées de vie du système. Si  $T$  est la variable aléatoire associée à la durée de vie d'un système et que  $f(\cdot)$  est sa fonction de densité, alors, la probabilité que cette durée de vie soit comprise entre  $t$  et  $(t + dt)$  est donnée par l'expression :

$$f(t)dt = Pr\{t < T < t + dt\} \quad (5.7)$$

$F(t)$  représente la fonction de distribution ou la fonction de répartition associée aux durées de vie et donnée par :

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx \quad (5.8)$$

$F(t)$  exprime la probabilité que la durée de vie soit inférieure ou égale à  $t$ .

### 5.1.1.3. La maintenabilité

Selon (Aït-Kadi, 2011), la maintenabilité est la probabilité de réaliser une action de maintenance dans un intervalle de temps donné, dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. La durée de réparation est une variable aléatoire.

$h(t)$  est définie comme la fonction de densité associée à cette variable.

$h(t)dt$  est la probabilité que la durée de réparation se trouve dans l'intervalle  $(t, t + dt)$ .

$H(t)$  : La distribution des durées de réparation

$H(t)$  = Probabilité que la durée de réparation  $\leq t$

$$H(t) = \int_0^t h(x)dx \quad (5.9)$$

Le terme MTTR (mean time to repair) est la durée moyenne jusqu'à la réparation d'une entité réparable.

Pour cette variable aléatoire, le MTTR se calcule par la formule :

$$MTTR = \int_0^{+\infty} [1 - H(t)]dt \quad (5.10)$$

Le MTTR s'assimile ainsi à la durée moyenne jusqu'à la première réparation et requiert la connaissance de l'état initial du système (Zwingelstein, 2009).

Le temps total de réparation est la somme de deux temps :

- Le temps de réparation active
- Le temps requis pour compléter les procédures administratives

#### **5.1.1.4. La disponibilité**

La norme AFNOR X 60-500 définit la disponibilité comme « *l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée* ». (Monchy, 2003).

La disponibilité est contingente à la réalisation d'un aléa. Une indisponibilité temporaire résulte en une baisse de la fiabilité (Delache, 2008).

Selon le secteur d'exploitation d'un système, trois mesures de disponibilité des systèmes dont les caractéristiques opératoires se dégradent avec l'âge et à l'usage peuvent être considérées (Aït-Kadi, 2008) :



- La disponibilité instantanée ( $A(t)$ ) : la probabilité que le système soit en opération à l'instant  $t$  et ce, indépendamment de ses états précédents
- La disponibilité ( $AV(T)$ ) : proportion du temps moyen de bon fonctionnement du système dans l'intervalle  $]0, T]$
- La disponibilité stationnaire UTR : proportion du temps moyen de bon fonctionnement du système sur un horizon infini.

Les grandeurs moyennes associées à la disponibilité les plus utilisés sont (Zwingelstein, 2009):

- Le temps moyen de disponibilité ou durée de bon fonctionnement après réparation (mean up time MUT) : durée moyenne de fonctionnement après la réparation et la défaillance suivante ;
- Le temps moyen d'indisponibilité ou durée moyenne d'indisponibilité (mean down MDT) : durée moyenne entre une défaillance et la remise en état suivante ;
- La durée moyenne entre deux défaillances consécutives de l'entité. En général, on a la relation :

$$MTBF = MUT + MDT \quad (5.11)$$

La Figure 5.4 (Zwingelstein, 2009) montre les relations entre les concepts de durée moyenne jusqu'à la première réparation, la durée moyenne entre défaillances, le temps moyen de disponibilité et celui d'indisponibilité.

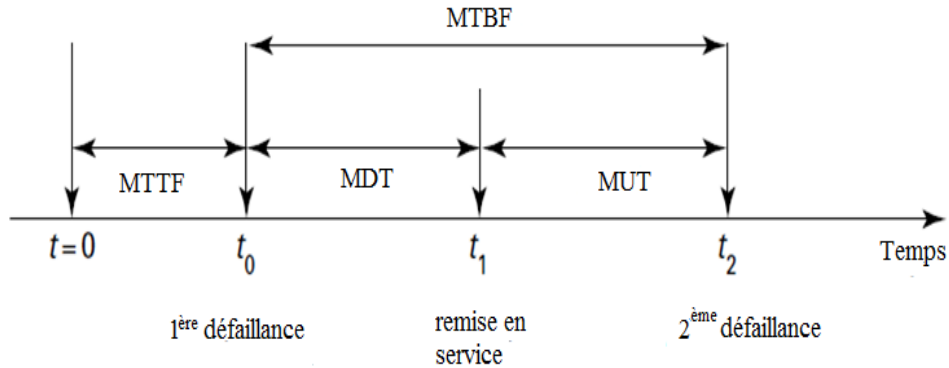


Figure 5. 4 : Relation entre les liens temporels en fiabilité, maintenabilité et disponibilité.

Pour améliorer la disponibilité des systèmes on peut utiliser différentes stratégies (Aït-Kadi, 2008 :

- Utiliser généralement des composants fiables ;
- Utiliser la redondance lorsque les contraintes de budget, d'espace et autres le permettent. Les systèmes redondants peuvent fonctionner en permanence (redondance active) ou être en attente (redondance passive). Dans l'industrie automobile, c'est ainsi que l'on équipe certains véhicules avec un double circuit de freinage (Zwingelstein, 2009).
- Mettre en place des stratégies de maintenance préventive ;
- Utiliser un système de gestion des opérations qui intègre toutes les contraintes de production et de maintenance.

La Figure 5.5 (Zwingelstein, 2009) récapitule les liens temporels entre les différents concepts définis en fiabilité, maintenabilité et disponibilité.

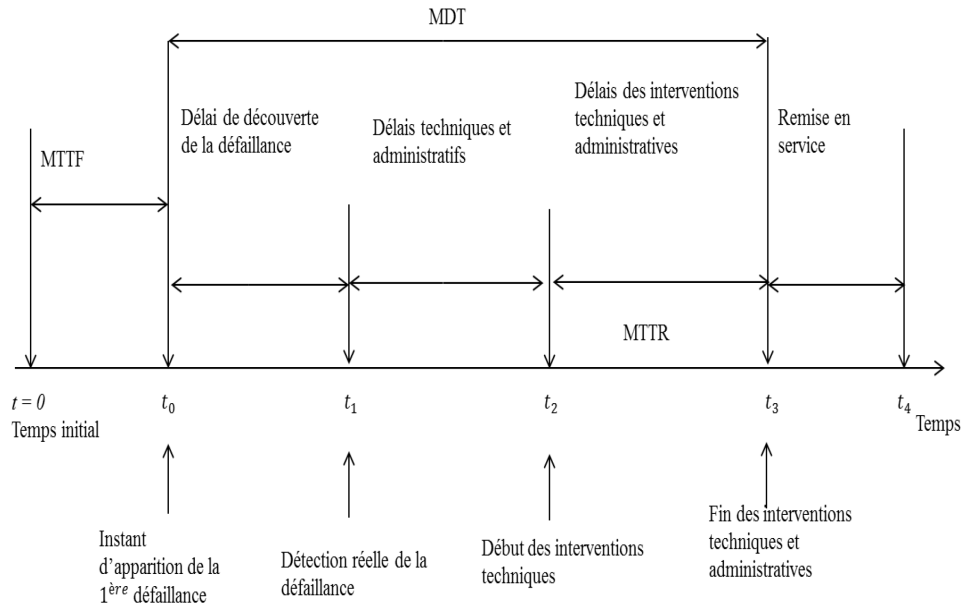


Figure 5. 5: Chaînage temporel des activités de détection et de remise en service.

#### 5.1.1.1. Sécurité

Les circonstances et les conséquences des catastrophes et des accidents sont variables. Elles montrent que le risque comporte deux aspects : probabilités et conséquences. Au niveau des conséquences, celles-ci se caractérisent par la sécurité : protection des personnes, de l'environnement mais aussi de la protection de l'outil de production.

Afin de réduire les risques, selon (Zwingelstein, 2009), deux voies peuvent être pratiquées. La première concerne la diminution de la probabilité d'occurrence de « l'événement indésirable » et la deuxième, l'atténuation des conséquences de cet événement.

Les études de sécurité visent essentiellement à évaluer la probabilité de l'occurrence d'un événement indésirable en prenant en compte tous les facteurs initiateurs depuis la conception :

- Les facteurs techniques des problèmes de conception, de fabrication, d'assurance qualité, de conduite et de maintenance des produits ;
- Les facteurs humains : qualité de la formation, ergonomie, procédures ;

- Les facteurs environnementaux : risques naturels, milieux ambiants.

Les études de sécurité, où la maintenance joue un rôle non négligeable dans la mesure où de nombreux accidents sont liés à des défaillances techniques ou humaines, couvrent un spectre technique étendu. Des études suggèrent qu'un pourcentage important de tous les décès liés à l'emploi concernent des véhicules à moteur (CRC Press LLC, 2004). Ces statistiques sont la preuve de la nécessité d'intégrer la sécurité à la gestion de l'industrie de la flotte et d'assurer le transport sécuritaire pour le client et le public.

Un programme de sécurité de la flotte automobile peut constituer un contrôle des pertes en ayant pour but de reconnaître les dangers ainsi que les pertes déjà occasionnés et de prendre les mesures appropriées pour prévenir les pertes potentielles de se produire à l'avenir.

### **5.1.2. Avantages d'un système de gestion de la maintenance**

La maintenance est un facteur qui contribue de manière importante à la compétitivité et à la productivité des entreprises car elle constitue un outil de production pour améliorer l'exploitation des ressources impliquées. Les nouveaux courants de pensée à ce sujet proposent des nouvelles approches pour maintenir, améliorer la performance des outils de production et par ce fait, prolonger leur durée de vie utile (Najahi, 2003).

En ce qui concerne l'exploitation d'une flotte de véhicules, un des éléments qui influence le renouvellement est la maintenance, puisque si elle est excessive, elle provoque une augmentation des coûts d'entretien. Avoir un programme de maintenance préventive a une incidence importante sur une flotte économiquement fiable (Bilbona, 2003).

Des inspections régulières et de l'entretien sont essentiels pour maintenir le système d'exploitation de la flotte avec un minimum de conséquences sur l'environnement. Les inspections et les réparations de suivi ont en général pour but d'améliorer la consommation de carburant de 3 à 7 % et de réduire les émissions de matières particulaires de 10 à 20 % (les réductions réelles dépendent de l'état d'origine de la flotte).

Un Système de maintenance géré de façon efficace réduit le coût global d'entretien et réparation des véhicules, le coût d'énergie, le surtemps, le coût des pannes majeures et les

stocks de pièces de rechange. Il permet également d'étendre la durée de vie de toutes les parties du véhicule, augmente la productivité de la main d'œuvre, augmente la valeur résiduelle des véhicules et améliore le professionnalisme, la qualité du service rendu aux clients et la crédibilité de l'organisation. Pour certains secteurs d'activité, les coûts liés à la maintenance varient de 15 à 45% des coûts d'opération (Najahi, 2003).

En termes environnementaux, un système de maintenance permet de réduire les temps d'arrêt du véhicule, aide à obtenir la meilleure performance de carburant en réduisant les émissions de GES, sensibilise les travailleurs vers des bonnes pratiques d'entretien et améliore la sécurité des conducteurs. (Federation of Canadian Municipalities (FMC), 2010).

### **5.1.3. Objectifs et activités de maintenance**

L'augmentation de la disponibilité de l'outil de production à un coût le plus bas possible constitue la préoccupation principale de la maintenance (Najahi, 2003). De cette façon, il est nécessaire d'optimiser les activités de maintenance en fonction de critères économiques, techniques et de sécurité. Ainsi, la fonction de maintenance doit accomplir les objectifs suivants (Najahi, 2003):

- Contribuer au respect des délais et des plans de production afin d'assurer la production prévue. Pour ce faire, la maintenance doit garantir la disponibilité des équipements, améliorer leur durée de vie et minimiser les temps d'arrêt. Elle vise aussi l'amélioration de la fiabilité et de la maintenabilité ;
- Contribuer à l'amélioration de la qualité en gardant les défaillances à un niveau minimal ou nul et en éliminant les mauvais réglages qui peuvent être la cause de la non-conformité du produit aux spécifications de qualité ;
- Améliorer la rentabilité de l'entreprise grâce à la diminution des coûts à travers l'implémentation d'une politique de maintenance appropriée ;
- Contribuer à la préservation de l'environnement par le respect des normes et règlements sur le contrôle des émissions et des polluants divers etc.

- Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail afin de maîtriser les risques d'accidents au travail qui peuvent se produire lors des interventions de maintenance.

Selon la norme NF EN 13306 les activités de maintenance sont l'inspection, la surveillance, la réparation, le dépannage, l'amélioration, la modification, la révision et la reconstruction. Le Tableau 5.1 décrit ce que signifie chaque activité, toujours selon la même norme.

ACTIVITÉ DE MAINTENANCE	CONCEPT
L'inspection	C'est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien. En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance.
La surveillance	C'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour but d'observer l'état réel d'un bien.
La réparation	Ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.
Le dépannage	Ce sont les actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à la réparation exécutée
L'amélioration	Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise
La modification	Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien
La révision	Ensemble complet d'examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.
La reconstruction	Action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approchent de la fin de leur durée de vie utile et/ou devraient être systématiquement remplacés.

Tableau 5. 1 : Les concepts des activités de maintenance.

#### 5.1.4. Outils de gestion et d'optimisation de la maintenance

Comme dit précédemment, l'un des objectifs majeurs de la maintenance est d'améliorer la disponibilité, la fiabilité et la maintenabilité des équipements. Mais, les gestionnaires n'accordent pas tous à cet objectif le degré d'importance qu'elle devrait avoir en raison de la possibilité du recours à la location (Wafer, 1997). Toute panne engendre des coûts

supplémentaires alors le service et l'efficacité de la flotte sont affectés. D'ailleurs, dans certains cas, comme dans le cas des véhicules spécialisés, ils sont difficilement remplaçables. Dans des telles circonstances les gestionnaires doivent avoir des véhicules très fiables et de véhicules de remplacement.

Pour atteindre cet objectif les gestionnaires peuvent avoir recours à plusieurs outils. Ces outils font référence, selon (Jardine, 2011), au remplacement préventif des équipements avant qu'une panne ait lieu, à l'inspection et au remplacement des équipements qui ont atteint leur durée de vie maximale. La Figure 5.6 (Najahi, 2003) montre les relations entre ces notions.

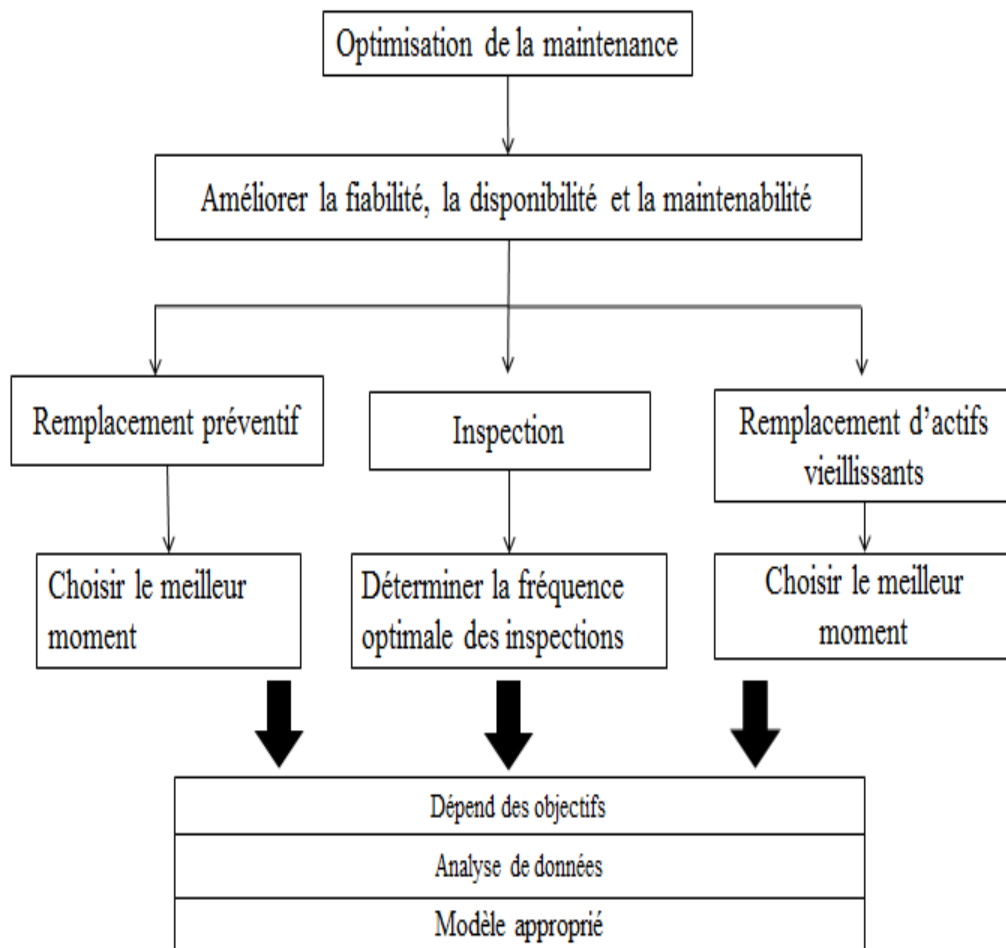


Figure 5. 6: Outils d'optimisation de la maintenance.

#### **5.1.4.1. Le remplacement préventif**

En règle générale, le remplacement préventif consiste à remplacer les composants critiques au moment optimal avant l'arrivée d'une panne. C'est ainsi possible d'augmenter la fiabilité de l'équipement. C'est une procédure qui prévoit le remplacement, après un moment où l'effet du vieillissement est devenu suffisamment critique, même si la défaillance réelle n'a pas encore eu lieu. Le problème ici est de déterminer quel est le meilleur moment pour le faire en fonction de l'objectif global, soit de minimiser les coûts ou de maximiser la disponibilité. Parfois, le meilleur moment pour effectuer un remplacement préventif permet d'atteindre les deux objectifs, mais pas nécessairement (Jardine, 2011). Ce type de remplacement tente d'optimiser le compromis entre les coûts de préemption de remplacement et les coûts de défaillance.

Selon cet auteur, la détermination du temps optimal de remplacement lorsque la minimisation des coûts est l'objectif à atteindre par les gestionnaires, consiste à comparer le coût de remplacement après défaillance avec le coût de remplacement préventif.

La logique de ce processus veut le renouvellement des véhicules lorsque le remplacement préventif devient moins onéreux que le coût de remplacement après défaillance. La Figure 5.7, inspirée du travail de Jardine (2011), montre le processus qui conduit à la détermination du temps optimal de remplacement lorsque la minimisation des coûts est l'objectif à atteindre.



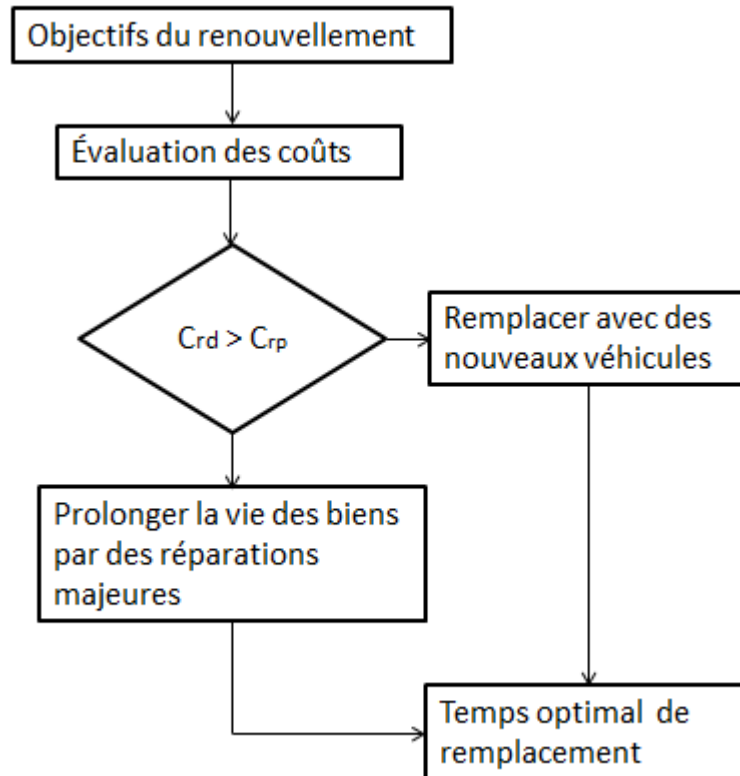


Figure 5. 7 : Analyse de décision pour trouver le temps optimal de remplacement.

Dans la figure 5.7, illustrée en fonction des coûts,  $C_{rd}$  représente le coût de remplacement après défaillance et  $C_{rp}$  le coût de remplacement préventif.

Le remplacement préventif est souhaitable dans deux cas :

- Lorsque le coût est le plus important, le coût de la défaillance soudaine doit être élevé par rapport à celui du remplacement préventif. Si la réduction du temps d'arrêt total est la priorité, le total du temps d'arrêt du remplacement après défaillance doit être plus élevé que celui pour le remplacement préventif. C'est la situation qui arrive généralement dans la pratique.
- Le deuxième cas est que le risque de défaillance d'un composant qui est remplacé au cours de la maintenance préventive doit augmenter comme son âge. Autrement dit ce risque se comporte comme une variable stochastique et a une durée de vie  $X$ ,

ou la distribution de probabilité de durée de vie a un taux de défaillances croissant (Tecteab, 2002).

La politique de remplacement préventif est parfois appelée la politique d'intervalle constant (Jardine, 2011) puisque le remplacement préventif survient à des moments fixes. Le dilemme du temps optimal de remplacement suppose le besoin de trouver un équilibre entre l'investissement dans le renouvellement préventif et les conséquences économiques du renouvellement après défaillance. Ce conflit est illustré dans la Figure 5.8 (Jardine, 2011).

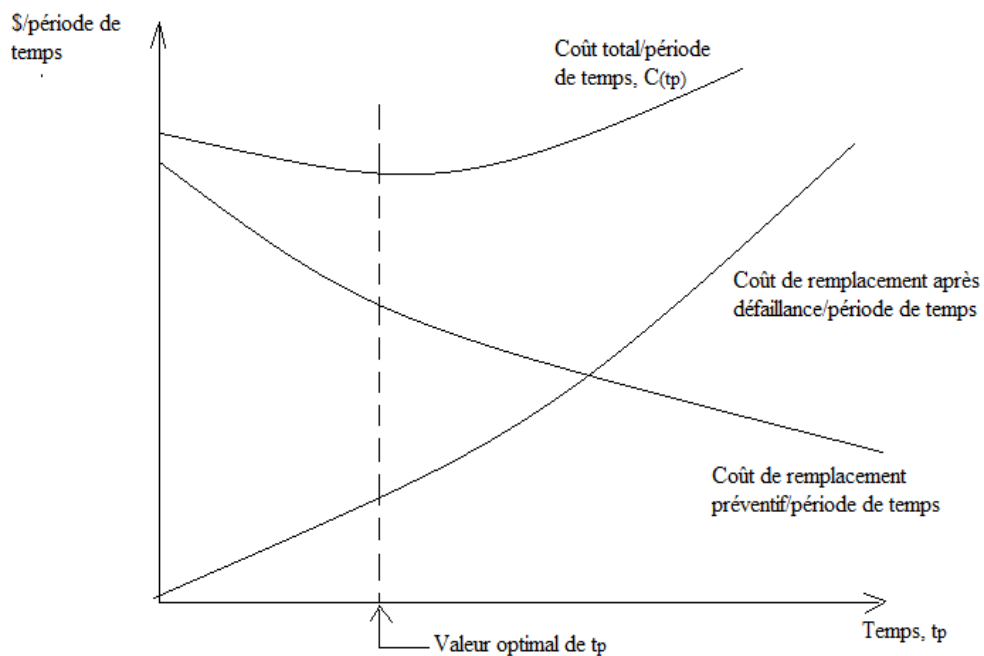


Figure 5. 8 : Conflit entre renouvellement préventif et renouvellement après défaillance.

$C(t_p)$  est le coût total par période de remplacements préventifs qui se produisent à des intervalles de longueur  $t_p$ , avec les remplacements de défaillance survenant chaque fois que nécessaire. La décision de remplacer avant ou après la défaillance n'est pas évidente puisque parfois le coût après défaillance est plus élevé que lorsque c'est fait à titre préventif. D'où l'importance de déterminer le meilleur intervalle de remplacement préventif en utilisant une méthode appropriée.

La détermination de l'intervalle optimal pour effectuer le remplacement préventif peut se faire afin de minimiser le coût total par kilomètre.

D'abord, les gestionnaires ont besoin d'analyser les données afin d'identifier les composants candidats pour le remplacement. Il est essentiel, dans un contexte d'amélioration de la productivité, de pouvoir agir sur les composantes susceptibles de tomber en panne. En conséquence, il est nécessaire d'identifier l'importance relative des composantes pour ensuite pouvoir cibler les interventions de maintenance et ainsi agir sur les composantes le plus critiques. L'analyse de fiabilité permet de cibler les dites composantes (Wafer, 1997).

Ensuite, il importe d'avoir un modèle pour déterminer le moment de remplacement dépendamment des contraintes d'exploitation. Dans son étude, (Jardine, 2011) présente une certaine politique de maintenance fondée sur deux modèles, celui de remplacement de bloc et celui basé sur l'âge de remplacement. Le premier est conseillé pour le remplacement de composantes peu coûteuses et le deuxième, dans le cas contraire.

Dans le cadre d'une politique de remplacement de bloc, le remplacement préventif survient à des moments fixes et les remplacements après défaillance lors que nécessaire. En remplacement basé sur l'âge, la composante reste toujours en service jusqu'à l'âge de remplacement préventif. Pour mettre en œuvre cette politique de remplacement, cependant, il est conseillé de tenir un registre permanent de l'âge actuel du composant et de modifier le temps de remplacement prévu en cas d'échec (Jardine, 2011). Le remplacement préventif ainsi conçu aide à réduire les défaillances du système.

#### **5.1.4.2. L'inspection**

Une alternative au remplacement préventif consiste à considérer le système dans son ensemble, et de réaliser des inspections régulières pour identifier les situations problématiques. Puis d'effectuer l'entretien mineur, tel que changer une composante ou remplir la boîte de vitesses avec de l'huile, en vue de prévenir une défaillance du système et, en conséquence, de diminuer le taux de défaillance. Ce taux peut être réduit en augmentant la fréquence des inspections. Il est donc nécessaire de savoir quelle est la meilleure fréquence de l'inspection.

Une façon de voir la situation est de considérer le temps moyen de fonctionnement avant la panne (MTTF). Comme le système des défaillances diminue, le MTTF va augmenter. Ceci est illustré par les fonctions de densité de probabilité  $f(t)$  de la Figure 5.9.

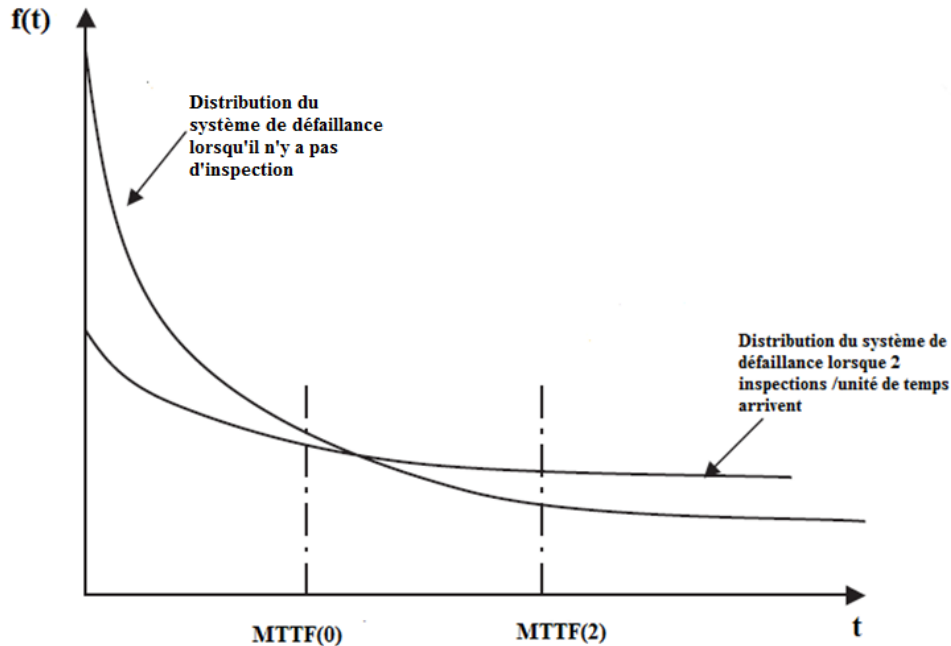


Figure 5. 9 : Fréquence d'inspection versus MTTF (Jardine, 2011).

Lorsque la fréquence d'inspection augmente, la MTTF augmente aussi. Si la fréquence d'inspection optimale minimise les temps d'arrêt totaux du système, les courbes de la Figure 5.10 (Jardine, 2011) ainsi obtenues sont contradictoires.

Une approche pour trouver la fréquence optimale d'inspection consiste à surveiller la santé de la maintenance du système par le biais de la maintenance prédictive et de n'agir que lorsque le système émet le signal qu'un défaut va se manifester et qui, s'il n'est pas corrigé, va créer une défaillance du système. Pour suivre ce signal, les méthodes de surveillance les plus courantes sont la surveillance des vibrations et l'analyse d'huile. Il peut être difficile de sélectionner les paramètres de surveillance les plus susceptibles d'indiquer l'état de santé des équipements, de déterminer combien de fois suivre ces paramètres, puis d'interpréter l'influence de ces valeurs mesurées sur le reste de durée de vie utile des équipements et d'agir en conséquence.

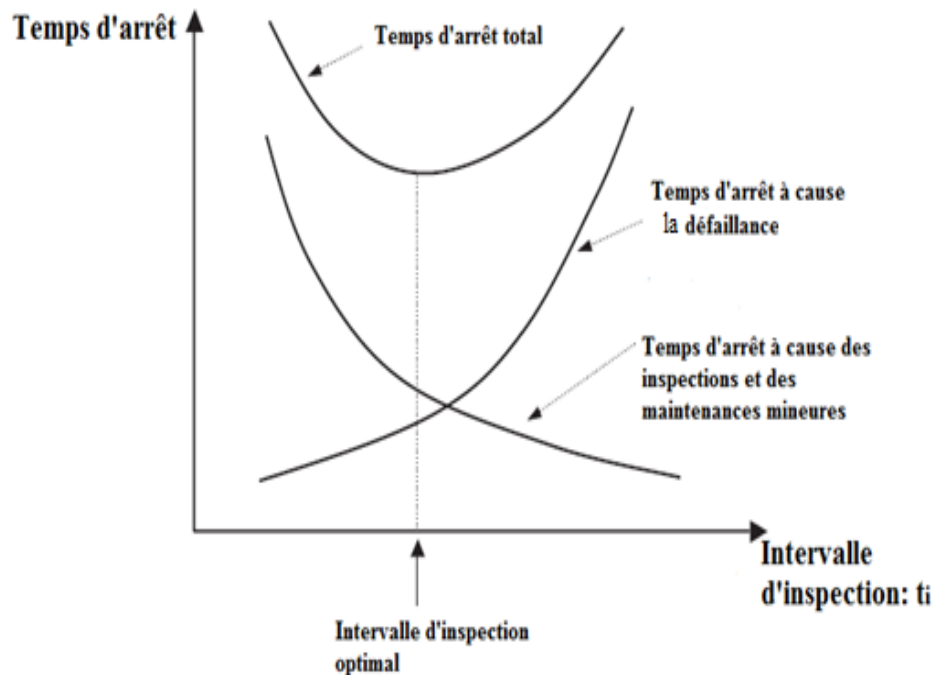


Figure 5. 10 : Intervalle optimale d'inspection (Jardine, 2011).

La maintenance prédictive vise à estimer avec précision la santé de l'équipement, à l'aide de surveillance d'état des équipements. L'objectif est de prendre la décision de maintenance optimale, alliant des considérations économiques avec un risque estimé.

En analysant soigneusement les données de surveillance d'état, ainsi que les informations sur l'âge et la raison pour le remplacement du matériel, les gestionnaires peuvent construire un modèle de risque excellent (Jardine, 2011). Pour optimiser les décisions de maintenance, il faut généralement, en plus de prendre en compte le risque de défaillance, maximiser le bénéfice d'exploitation et la disponibilité de l'équipement ou encore, minimiser le coût total.

#### 5.1.4.3. Le remplacement de vieux équipements

Le dernier outil à traiter pour l'amélioration de la fiabilité, de la disponibilité et de la maintenabilité du système est le remplacement des vieux équipements. Le service de maintenance peut être confronté soudainement à des dépenses d'entretien majeur pour

l'équipement, soit à cause d'un accident ou encore, parce qu'il est possible de prolonger la vie d'un actif à travers une réparation majeure. Dans les deux cas, le service de maintenance doit décider d'encourir des dépenses d'entretien ou de sortir le véhicule du parc et le remplacer par un nouveau.

En somme, ces outils mis à la disposition des gestionnaires supposent l'utilisation d'une approche pour traiter avec les systèmes réparables plutôt que pour remplacer une unité complètement échouée. Le gestionnaire peut éventuellement la remettre en service avec une action corrective mineure. C'est ce qu'on appelle une réparation minimale et générale. Des modèles pour remédier à cette situation sont examinés dans (Jardine, 2011).

Pour mettre en œuvre cet ensemble d'outils, l'organisation a besoin de ressources de maintenance appropriées. Il faut décider quelles ressources il devrait y avoir, là où elles devraient être situées, qui doit les posséder et comment elles doivent être utilisées. Avoir trop de ressources n'est pas rentable. Par contre, si des ressources de maintenance suffisantes ne sont pas disponibles, les clients seront mécontents. Le défi est alors d'équilibrer les dépenses sur les ressources de maintenance telles que le personnel, les équipements et les pièces de rechange avec un rendement approprié pour cet investissement.

L'ensemble des outils d'optimisation de la maintenance ainsi que la gestion de ressources font partie du système de gestion de la maintenance. Afin qu'il fonctionne de manière efficace il est nécessaire de concevoir une stratégie pour sa mise en œuvre. C'est la notion qui occupe la section suivante.

### **5.1.5. Stratégie de mise en œuvre d'un système de gestion de la maintenance**

L'objectif est de mettre en place un système de gestion de la maintenance le plus proche possible de l'état idéal qui assure toutes les conditions d'une maintenance efficace. Pour y parvenir il est nécessaire d'avoir fait un diagnostic qui donne des indications sur l'état actuel de la flotte. La stratégie mise en place doit être telle qu'elle réponde aux

recommandations du diagnostic d'une part, et tienne compte des conditions idéales d'une bonne maintenance d'autre part.

Le processus de mise en place d'un système de gestion de la maintenance est un processus long, qui fait appel à beaucoup de ressources. C'est pourquoi ce processus doit être planifié, organisé et géré. Pour bien mener ce processus il est convenable d'avoir recours à la méthode de gestion de projet (Najahi, 2003).

Le processus de mise en œuvre peut se développer en suivant les étapes décrites dans (Najahi, 2003). Ces étapes sont mises sous forme de diagramme, présenté à la Figure 5.11 :

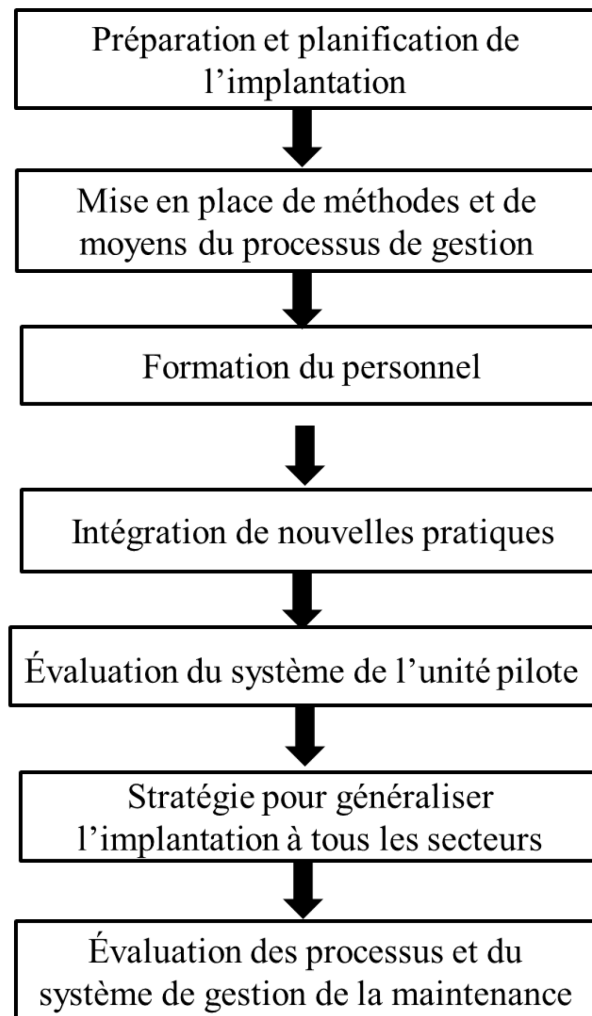


Figure 5. 11 : Étapes de la mise en place d'un système de gestion de la maintenance.

Du point de vue général, le processus de mise en place d'un système de gestion est mené en trois phases, soit la préparation, la mise en place et l'évaluation. La première étape, c'est-à-dire, la préparation et planification de l'implantation réfère à la définition du projet, au choix de l'unité pilote et à la codification des équipements. Le choix de l'unité pilote est important parce qu'il permet de faire l'implantation de façon graduelle en commençant par cette unité et de poursuivre après avec les autres. L'unité pilote doit être représentative, ce qui veut dire qu'elle doit refléter toutes les difficultés de l'ensemble des installations.

La deuxième étape consiste à mettre en place des méthodes et de moyens du processus de gestion et implique la définition des objectifs, des choix de modes de maintenance, de gestion des moyens et de gestion des travaux de maintenance. La troisième étape, soit la formation du personnel, a lieu parce qu'il est nécessaire de rendre opérationnel la configuration. La quatrième étape consiste à implanter des méthodes proprement dite, elle intègre des nouvelles pratiques. La cinquième étape vise à évaluer le système de l'unité pilote. La sixième étape comprend le développement d'une stratégie pour généraliser l'implémentation à tous les secteurs de l'installation. La dernière étape consiste à évaluer le processus et le système de gestion de la maintenance ; c'est une évaluation qualitative systématique du fonctionnement de ce système.

Pour une analyse détaillée de l'ensemble de ces étapes ainsi qu'une étude approfondie des différents outils pour l'implantation d'un système de gestion de la maintenance voir (Najahi, 2003).

### **5.1.6. Contrôle de la maintenance et mesure de la performance**

Le contrôle de la maintenance a pour but de mesurer, de compiler et d'analyser l'information afin de contrôler la performance de la maintenance, d'apporter les correctifs nécessaires et ainsi, d'assurer l'optimisation de la productivité globale des installations (Cégep de Sherbrooke, 1991).

Voici une méthode qui assure un bon contrôle de la maintenance :

- Établir un système d'information qui repose sur un système de bons de travail efficace, centré sur l'équipement ;



- Obtenir et analyser des informations claires, pertinentes et précises ;
- Identifier rapidement les équipements problématiques ;
- Initier les mesures correctives nécessaires (rechercher les véritables causes par des techniques);
- Mesurer l'amélioration continue de la maintenance par comparaison à des cibles prédéfinies ou par des indicateurs.

Le contrôle de la maintenance se fait à partir de la main d'œuvre, les stocks maintenance et les matériaux, les coûts et la performance des travaux de maintenance.

Pour une gestion adéquate de la performance d'un département de maintenance, il est fort utile d'avoir des indicateurs fiables et appropriés à l'activité du transport dans sa globalité. Ils doivent être mis en œuvre afin d'atteindre des objectifs fondamentaux tels que déterminer l'efficacité de la flotte en ce qui a trait à la distribution et préciser l'efficacité du processus.

Ce qui précède est la raison pour laquelle il importe de développer des indicateurs qui soient en lien avec les missions premières de l'entreprise. Ces indicateurs peuvent s'exprimer sous différentes formes permettant de juger objectivement de la performance.

Le Tableau 5.2 montre un exemple de classement d'indicateurs (Selon la norme NF X 60-020). Ils sont divisés en 3 familles : Les ratios, les indicatifs et les comparatifs. Toutefois, il faut en sélectionner seulement quelques-uns de façon à bien les gérer et bien les suivre.

TYPE D'INDICATEURS	NOM	DÉFINITION
Efficacité de la maintenance	Nombre d'interventions	Nombre de pannes par mois
	Indicateur de maintenance préventive	$(\Sigma \text{ heures de maintenance préventive}) / (\Sigma \text{ heures de maintenance})$
	Maintenance corrective	$(\Sigma \text{ heures de maintenance corrective}) / (\Sigma \text{ heures de maintenance})$
Activité du service de maintenance	Réactivité	Temps d'intervention/Temps d'arrêt
	Indicateur de fiabilisation	MTBF moyenne des temps entre deux défaillances d'un système réparable $((\Sigma \text{ Temps de bon fonctionnement}) / \text{Nombre de pannes})$
	Maintenabilité des équipements	MTTR durée moyenne d'attente de la réparation du système. MTTR opérationnel : temps moyen d'une action de maintenance corrective. $((\Sigma \text{ Temps technique de réparation}) / \text{Nombre de pannes})$
	Disponibilité	$MTBF / (MTBF + MTTR)$
Coûts et budget de maintenance	Coût de maintenance par équipement	$(\Sigma \text{ coût de maintenance sur un équipement})$
	Cotraitance	coût de cotraitance / coût de maintenance
	Incidence de la maintenance	$(\Sigma \text{ coût de maintenance}) / \text{chiffre d'affaire}$

Tableau 5. 2 : Types d'indicateurs de performance.

En outre, des études ont montré que certains indicateurs sont jugés indispensables pour l'évaluation de la performance des véhicules. Une liste de ces indicateurs se trouve dans (Wafer, 1997). Ils sont mis ci-après :

- Kilomètres entre pannes ;
- Nombre des pannes par véhicule par mois ;
- Nombre total d'heures de maintenance par mois (heures régulières et supplémentaires ;
- Nombre de réparations répétées dans le même mois ;
- Coût de la maintenance par véhicule-kilomètre ;

- Coût de la maintenance par véhicule ;
- Coût de la main d'œuvre par véhicule-kilomètre ;
- Coût moyen de carburant et lubrifiant par modèle de véhicule par rapport à la flotte

Par ailleurs, les éléments de base pour un système d'information et de gestion du service aux usagers du transport en commun, les gestionnaires doivent avoir une connaissance suffisante de la performance et des indicateurs présentés sur le Tableau 5.3<sup>4</sup>. La comparaison de données de la flotte avec ces critères d'évaluation et ces indicateurs aide à évaluer l'ampleur des problèmes du système d'autobus.

TYPE D'INDICATEUR	DESCRIPTION
Rôle et importance des autobus	Population totale dans la zone desservie ; Total des trajets journaliers (sauf trajets à pied) ; Total des trajets journaliers par transport public ; Part modale des transports publics ; Moyenne journalière du nombre de passagers ; Moyenne du nombre de montées et descentes par trajet d'autobus ; Moyenne des trajets journaliers par autobus ; Part modale des autobus.
Description du réseau	Pourcentage de la zone urbaine à moins de 500 m d'un arrêt de bus
Description de flotte	Taille de la flotte : autobus ; Nb d'autobus pour 1 000 personnes ; Capacité moyenne des autobus ; Capacité totale de la flotte ; Pourcentage de la capacité assise ;

<sup>4</sup> Cette liste a été déterminée sur le site commissionné par la Banque Mondiale au : [http://www.ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/french\\_UrbanBusToolkit/site/assets/1/1c/1c.htm](http://www.ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/french_UrbanBusToolkit/site/assets/1/1c/1c.htm)

	<p>Pourcentage d'autobus avec climatisation (si approprié) ;</p> <p>Âge moyen des véhicules.</p>
<p>Mesure des résultats de performance</p>	<p>Pourcentage moyen de disponibilité ;</p> <p>Taux d'utilisation moyen des véhicules (pourcentage d'autobus disponibles par rapport au nombre d'autobus utilisés) ;</p> <p>Pourcentage d'autobus pour les heures de pointe seulement ;</p> <p>Moyenne de kilométrage journalier par autobus</p> <p>Moyenne totale journalière place - km (place = capacité assise et debout) ;</p> <p>Pourcentage de km perdus ;</p> <p>Km par panne en service ;</p> <p>Km par accident.</p>
<p>Charge des bus et adéquation de la capacité</p>	<p>Passagers par véhicule par jour ;</p> <p>Taux d'occupation moyen à l'heure de pointe au point de charge maximum ;</p> <p>Distance moyenne parcourue par montée (km) ;</p> <p>Km journalier des passagers ;</p> <p>Facteur de charge moyen (passager - km / place - km).</p>
<p>Personnel (Indicateurs de productivité du personnel)</p>	<p>Nombre d'agents du personnel par véhicule enregistré ;</p> <p>Chauffeurs par véhicule enregistré ;</p> <p>Receveurs par véhicule enregistré ;</p> <p>Autre personnel de route par véhicule enregistré ;</p> <p>Personnel d'entretien par véhicule enregistré ;</p> <p>Personnel de gestion et d'administration par véhicule enregistré ;</p> <p>Kilomètres par employé et par jour ;</p> <p>Kilomètres par chauffeur et par jour ;</p> <p>Journées travaillées par année par employé.</p>
<p>Abordabilité (niveau tarifaire des transports publics par rapport</p>	<p>Tarif moyen payé par montée ;</p> <p>Salaire mensuel moyen ;</p> <p>Pourcentage du salaire mensuel pour 50 montées moyennes.</p>

pouvoir d'achat de la population)	
Performance financière	Taux de couverture des coûts

Tableau 5. 3 : Indicateurs de performance pour un réseau de transport en commun.

Il est convenable de tenir compte qu'une multitude d'indicateurs existe et qu'il n'y a pas de norme fixe qui permette d'identifier les indicateurs à utiliser dans un cas spécifique. Toutefois, le gestionnaire qui se donne pour tâche d'évaluer et de mesurer la performance de la flotte doit choisir ceux le plus pertinents aux caractéristiques et besoins de la flotte ou bien utiliser ceux qu'il aurait lui-même déterminé.

Compte tenu de ce qui précède, il a été jugé pertinent d'inclure les indicateurs pour un cas spécifique, soit la flotte et la plant de la Ville d'Albany (Albany City, 2011). Les indicateurs de mesure de performance les plus importants sont liés à la fonction, la durabilité, la condition, l'allocation de ressources et la sécurité de la flotte. Pour chacun de ces indicateurs, le niveau de service, la mesure de la performance et l'objectif de rendement ont été déterminés. Le croisement de ces facteurs aux indicateurs de performance est illustré dans le Tableau 5.4 (Albany City, 2011) :

INDICATEUR DE PERFORMANCE	NIVEAUX DE SERVICE	MESURE DE LA PERFORMANCE	OBJECTIF DE RENDEMENT
Fonction	Équipement moderne qui répond aux besoins des usagers	Consultation des usagers sur des périodes de renouvellement	Accord par les utilisateurs et gestionnaires sur les options de remplacement
Durabilité	Coût effectif de la flotte avec l'ensemble des coûts de durée de vie	Un plan de renouvellement avec le cadre général de coût du cycle de vie	Renouvellement en accord avec le plan de financement
Condition	Véhicules qui sont maintenus en accord avec les spécifications du fabricant	La conformité avec les spécifications et recommandations du fabricant	Les temps d'arrêt résultant d'un bris est le plus proche que possible de zéro
Allocation de ressources	L'équipement est utilisé par du personnel qualifié	Les niveaux d'équipements sont jumelés en accord avec les engagements des travailleurs	Le taux d'utilisation qui excède les standards de l'industrie
Sécurité	La conformité des actifs	Routes en conformité avec les programmes de maintenance et réparation	100% de conformité avec la loi en matière de santé

Tableau 5. 4 : Indicateurs de performance pour la flotte de la ville d'Albany.

### **5.1.7. Applications**

Sous cette rubrique sont considérées quelques notions sur la maintenance productive totale (TPM) et la maintenance basée sur la fiabilité.

#### **5.1.7.1. La maintenance productive totale (TPM)**

La maintenance productive totale (MPT) (TPM) fonde ses concepts sur une collaboration étroite entre tous les intervenants de l'organisation pour pouvoir agir sur les sources de gaspillage dans tous les domaines : temps, énergies, main d'œuvre, pièces de rechange, entre autres. De cette façon, la TPM cherche à éliminer les facteurs perturbateurs qui sont à l'origine des pertes de rendement (Najahi, 2003). Donc, le critère de référence, le rendement global devient l'objectif premier et non la disponibilité. Dans ce cadre, pour motiver la participation et l'implication de tous les acteurs, le management se fait par cercles de réflexion composés d'agents directement concernés par la notion de mission et par les orientations à prendre.

L'un des piliers le plus importants de la TPM est la maintenance autonome, appelée auto maintenance. Elle s'exprime de manière la plus visible par la délégation des tâches les plus simples vers les opérateurs de conduite des machines et se fait progressivement, ainsi que l'organisation est bâtie collectivement, par l'ensemble des acteurs, lors d'échanges au cours de ce que l'on peut nommer des cercles TPM. Le Tableau 5.5 montre les principales tâches de la TPM (Les eaux, 2010).

TÂCHES	DESCRIPTION
Le nettoyage	Il permet de repérer des anomalies dans les domaines mécanique, électrique, pneumatique et hydraulique
Le graissage	Pour les systèmes à dominante mécanique, un graissage convenablement pratiqué est une garantie de bon fonctionnement.
Les resserrages	Jugés nécessaires lors d'inspections, de nettoyages ou en marche normale, ils sont effectués dès le constat. Les desserrages, les vibrations, sont souvent en cause dans des dérives de qualité ou l'apparition de défauts fortuits inexplicables.
Les inspections quotidiennes	Elles sont de préférence pratiquées, s'il y a lieu, avant la mise en marche. A partir d'une liste d'opérations précisément décrites, l'opérateur procède à une série de contrôles visuels, manuels avec ou sans outillage ou appareillage. Leur but est de déceler l'apparition d'un paramètre non conforme et donc potentiellement source d'incident.

Tableau 5. 5 : Les tâches de la TPM.

Le fait constaté par la littérature est que les compagnies qui ont intégré la TPM dans leurs systèmes de gestion ont réalisé des économies substantielles et, en conséquence, ont amélioré leur compétitivité à tous les plans (Najahi, 2003). L'implantation de la TPM n'est pas facile et, pour cette raison, elle doit se faire de manière structurée et avec les outils pertinents. Plusieurs facteurs sont en cause dans cette complexité et font en sorte que la mise en place d'un tel système varie d'une organisation à l'autre.



Une démarche spécifique qui peut être utilisée pour la gestion efficace d'une flotte de véhicules est la Lean Maintenance. Cette démarche TPM a été optimisée et axée sur l'élimination du gaspillage relié aux équipements et à leur utilisation.

Le but de la Lean Maintenance est d'obtenir le meilleur rendement des équipements, à moindre coût (Les eaux, 2010).

Quelques domaines d'améliorations de la Lean Maintenance sont montrés à l'aide du Tableau 5.6 :

DOMAINES D'AMÉLIORATION	OBJECTIFS
Gestion des pièces détachées	Optimiser la gestion des pièces détachées afin qu'elles soient disponibles pour les maintenances préventives et correctives
Maintenance préventive	Faciliter la maintenance préventive pour les activités et équipements critiques
Gestion des employés	Mettre en place des formations polyvalentes des équipes
Initiatives d'amélioration	Encourager et permettre à tous les intervenants d'avoir des initiatives d'améliorations

Tableau 5. 6 : Domaines d'amélioration de la Lean Maintenance.

#### **5.1.7.2. La maintenance basée sur la fiabilité (RCM)**

La préoccupation principale de la maintenance basée sur la fiabilité est l'optimisation des tâches de la maintenance préventive. Cette optimisation consiste à modifier les fréquences et les tâches de maintenance. Alors que certaines tâches sont éliminées parce qu'ils ne sont pas adaptées, d'autres sont modifiées dans leur contenu et d'autres appliquées à des composants et des sous-ensembles. Les nouvelles données ainsi générées vont répondre de façon objective aux besoins d'exploitation (Najahi, 2003).

L'évaluation et l'identification des équipements critiques, ainsi que leurs défaillances fonctionnelles, constitue le préalable pour déterminer les nouveaux besoins en maintenance.

Afin de déterminer les équipements critiques, le service de maintenance a recours à la surveillance. Alors des questions sont posées (Jardine, 2011):

- Pourquoi surveiller ?
- Quels sont les éléments d'équipement à surveiller ?
- Quelles sont les technologies de surveillance à utiliser ?

La maintenance centrée sur la fiabilité (RCM), aide à trouver les bonnes réponses à ces questions.

La RCM s'inscrit dans le cadre d'un projet d'entreprise, c'est pourquoi elle joue un rôle important. Elle présente tant les objectifs que la politique à appliquer pour le projet afin de favoriser la participation des services de qualité, de maintenance et de production. La direction établit les priorités de ces services quant à la productivité, la qualité, la fiabilité et la logistique de maintenance. Ensuite, la direction organise une équipe avec son pilote respectif qui est le chef d'équipe.

Les tâches de l'équipe sont (Najahi, 2003):

- Élaborer les nouveaux plans de maintenance technique ;
- Déterminer les moyens d'évaluation de l'état des équipements ;
- Diagnostiquer les défaillances et les moyens logistiques.

Pour accomplir ces tâches, l'équipe doit suivre une démarche basée sur quatre étapes décrites dans (Najahi, 2003). De la même façon, l'équipe doit être en mesure de étudier les défaillances fonctionnelles en ce qui concerne leur identification, leurs causes, leurs conséquences, la manière dont elles se manifestent et les moyens pour les prévenir, pour les prédire ainsi que ce qu'on peut faire s'il n'est pas possible de les prévenir ou les prédire.

### **5.1.8. Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)**

Toutes les activités d'un service de maintenance, dans ses aspects techniques, budgétaire et organisationnel, peuvent être organisées, programmées et suivies grâce à un système informatique de gestion de la maintenance. Ce système constitue un progiciel organisé autour d'une base de données à partir de terminaux disséminés dans les bureaux techniques, les ateliers, les magasins et les bureaux d'approvisionnement (Les eaux, 2010).

#### **5.1.8.1. Fonctionnalités d'un logiciel de GMAO**

La mise sous informatique de la gestion du service maintenance d'une organisation apparaît aujourd'hui incontournable pour la plupart des secteurs d'activité. Dès lors qu'un service maintenance est structuré et a fait la preuve de l'efficacité de son entreprise, l'outil de GMAO se révèle indispensable par sa capacité de mise en mémoire, par ses possibilités de traitement d'informations, par ses interfaces et par sa réactivité (Université Mantouri Constantine, UMC, 2010).

La prolifération de produits de GMAO lors des dernières années entraîne un regroupement des entreprises, cet aspect étant à prendre en compte par les acheteurs (critère de pérennité du produit et de l'entreprise). On peut distinguer pour le cas d'une flotte les progiciels GMAO « Parc », destinées à la gestion d'une flotte de véhicules ou d'engins.

#### **5.1.8.2. Les modules fonctionnels d'un outil de GMAO**

Tous les logiciels de GMAO ont en commun la même structure modulaire proposant les mêmes fonctions. Mais, selon les logiciels, les fonctions remplies sont diversement dénommées, diversement réparties et diversement organisées.

Le Tableau 5.7 montre les 10 modules principaux d'un outil GMAO (Université Mantouri Constantine, UMC, 2010) avec les objectifs essentiels à chacun.

Dans les bureaux techniques d'une entreprise (méthodes, ordonnancement, logistique et travaux neufs), on pourra effectuer la gestion par exploitation des différents modules qui le composent.

MODULES	OBJECTIFS
Gestion des équipements	Décrire et coder l'arborescence du découpage allant de l'ensemble du parc à maintenir aux équipements identifiés et caractérisés par leur dossier technique et leur historique, puis à leur propre découpage fonctionnel.
Gestion du suivi opérationnel des équipements	Suivre les performances d'un équipement à partir des indicateurs de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité (le taux de rendement synthétique TRS si la TPM est envisagée ou effective). Le choix des indicateurs prédétermine la nature des saisies nécessaires. Celles-ci doivent pouvoir se faire « au pied de la machine » et en temps réel, aussi bien en ce qui concerne les demandes que les comptes rendus.
Gestion des interventions	Permettre un enregistrement rapide de la durée, de la localisation et de la nature d'une intervention.
Gestion du préventif	Gérer la maintenance systématique à travers un calendrier par équipement, les dates étant prédéterminées ou déterminées à partir d'un relevé de compteur. Le déclenchement sera automatique, par une liste des opérations prévues dans la semaine. Chaque opération sera prévue par sa gamme préventive.
Gestion des stocks	Le système repose sur le fichier des articles comprenant les "lots de maintenance" et sur les mouvements entrées/sorties du magasin.
Gestion d'achats et approvisionnements	Permettre la gestion des achats. Contient beaucoup de références et de fournisseurs pour des quantités faibles et des délais courts.
Analyse des défaillances	Permettre une analyse de défaillances. La base de ce module est constituée des données historiques automatiquement alimentés par chaque saisie de BT (bons de travaux) ou OT (ordre de travaux).
Budget et dépenses	Faire le suivi de l'évolution des dépenses par activité dans un budget
Gestion des ressources humaines	Il est d'une aide précieuse pour l'ordonnement des opérations de maintenance.
Tableaux de bord et statistiques	Ils concernent la mise en forme de tous les indicateurs techniques, économiques et sociaux sélectionnés pour assurer la gestion et le management du service de maintenance.

Tableau 5. 7 : Les différents modules d'un système de GMAO.

### **5.1.8.3. La conduite d'un projet de GMAO**

Le projet de GMAO est pour le service maintenance un projet "structurant" remettant en cause des habitudes de travail, donc susceptible de modifier en profondeur l'état d'esprit et la motivation des acteurs. C'est une opportunité pour réorganiser un secteur, pour optimiser des procédures, pour élever le niveau de sensibilité à la gestion de tous les acteurs, pour en promouvoir certains.

Il ne faut pas négliger ni sous-estimer le poids de la formation dans le coût du projet : l'acceptation de l'outil est la condition incontournable de la réussite du projet, de même que la cause majoritaire de l'échec est le refus de l'outil (Université Mantouri Constantine, UMC, 2010).

### **5.1.8.4. Choix de l'outil de GMAO et de ses modules nécessaires**

Le choix du logiciel se fera après l'appel d'offres détaillé et les essais sur les produits sélectionnés. Il passe par son adéquation à la stratégie globale du système informatique de l'entreprise (problème d'intégration) et aux besoins exprimés du service de maintenance (problème du cahier des charges et problème du paramétrage ou personnalisation).

L'intégration de la GMAO dans le système d'information de l'entreprise implique la réduction de l'hétérogénéité des matériels, des langages et des systèmes d'exploitation ainsi que la suppression des redondances et les doubles saisies (Université Mantouri Constantine, UMC, 2010). Alors, deux types d'intégration sont possibles.

Le premier, à partir d'une base de données générale, autour de laquelle les fonctions de comptabilité, du personnel, du commercial, de production et de maintenance échangent et communiquent ; le deuxième, à partir d'un système global d'exploitation (suivi de production assuré à partir de toutes les données opérationnelles du terrain) jusqu'à un tableau de bord de pilotage de la production.

L'adéquation de l'outil de GMAO aux besoins exprimés du service maintenance réfère au problème du cahier des charges et au problème du paramétrage ou de la personnalisation. Le cahier des charges nécessite que chaque service de maintenance détermine ses besoins

internes en matière d'informatisation, mais également ses besoins de communication externes, présents et à venir. L'aspect paramétrage des produits de GMAO s'impose, permettant à l'utilisateur de modéliser ses interfaces au logiciel suivant ses besoins propres. En effet, l'outil de GMAO doit proposer des propriétés de modules et un paramétrage pour pouvoir s'adapter à l'entreprise, à son organisation, à son évolution prévisible et à son vocabulaire. Une gestion de configuration doit permettre des ajouts ou des suppressions de champs, des calculs sur les champs et des modifications de libellés. La GMAO doit permettre une extraction rapide des données permettant de personnaliser des indicateurs.

## **5.2. Les systèmes d'information dans les plans de gestion**

Le rôle des systèmes d'information (SI) dans les organisations est indéniable pour le recueil, le traitement, le stockage et la diffusion de l'information afin de soutenir la prise de décisions et le contrôle. Aujourd'hui, les systèmes d'information sont pour les entreprises dans tous les secteurs d'activité, une composante essentielle de leur stratégie face aux clients, aux concurrents et aux fournisseurs. Ils ont donné aux organisations une plus grande capacité concurrentielle.

Les SI offrent des solutions qui ne sont pas uniquement basées sur des programmes qui s'exécutent sur un ordinateur quelconque. Cet aspect est certes important, mais il fait partie d'une triade quand on considère le rôle des SI dans un plan d'ensemble : technologie, organisation et gestion. Selon le type d'entreprise, un de ces aspects prime sur un autre.

Pour le cas spécifique de la gestion de flotte, les systèmes d'information doivent permettre de surveiller le rendement réel de la flotte quant à l'exploitation et les coûts afin de réaliser des améliorations constantes de la gestion. Ils fournissent en temps voulu des données intégrées, fiables et pertinentes. Avec les SI, il est maintenant possible d'échanger des informations pertinentes à chacun des niveaux hiérarchiques et des domaines d'activités : opérationnel, intégration des connaissances, gestion, stratégie. Cela crée un flux d'information qu'il faut gérer.

Le flux d'information clé dans un plan de gestion d'actifs est le suivant (Narrabri Shire Council, 2011):

- Le registre des actifs de données sur la taille, l'âge, la valeur et la vie restante du réseau ;
- Les taux unitaires pour les catégories de travaux / matériel ;
- Les niveaux de service adoptés ;
- Projections des divers facteurs influant sur la demande future de services ;
- Les corrélations entre entretien et de renouvellement, y compris les modèles de désintégration ;
- Les données sur les nouveaux actifs acquis.

Le flux d'informations clés à partir de ce plan de gestion d'actifs est constitué de différents programmes, de tendances, du budget résultant, de l'évaluation et des projections d'amortissement et de l'analyse de la durée de vie utile. Ce sont des informations qui auront un impact sur le plan financier à long terme de la stratégie globale de l'entreprise.

Le flux d'information doit être intégré à un système de gestion informatisée de la flotte qui réponde aux exigences des flux d'information et fournisse les considérations clés dans l'acquisition et la mise en œuvre d'un système de gestion (Narrabri Shire Council, 2011). Ceci peut fournir la visibilité, le contrôle et l'automatisation nécessaires pour faire face à la fois aux questions d'affaires globales et aux tâches opérationnelles quotidiennes associées à la flotte de véhicules. Le temps est venu où il est difficile de dissocier gestion logistique, optimisation et technologie. La gestion du parc automobile utilise les logiciels de type TMS (Transport Management System) ou SGT (en français Système de Gestion du Transport) (Ichoua, 2001).

Un système de gestion d'actifs peut faire partie d'un système de gestion de la maintenance. En effet, il peut aider à optimiser les processus afin d'améliorer la fiabilité et la disponibilité des actifs de la flotte, d'améliorer l'utilisation des véhicules, de réduire les temps d'arrêt ou d'indisponibilité, de permettre la gestion du cycle de vie de la flotte et de

réduire les dépenses de fonctionnement et le budget de maintenance des actifs. Ainsi, il peut libérer des fonds pour des initiatives supplémentaires.

En outre, l'utilisation d'un système de gestion de flotte de véhicules peut résulter bénéfique pour enregistrer et analyser la façon dont la flotte actuelle est exploitée afin de mieux comprendre ce que les véhicules produisent en termes d'émissions et qui nécessitent un remplacement selon un ordre de priorité. Compte tenu de ce qui précède, un système de gestion de flotte de véhicules renforce l'approche systématique de l'analyse des problèmes liés au remplacement des équipements et montre comment l'enregistrement de données systématiques est avantageux sur le processus décisionnel. La Figure 5.12 montre une approche de système d'information et de gestion global et ses éléments constitutants.

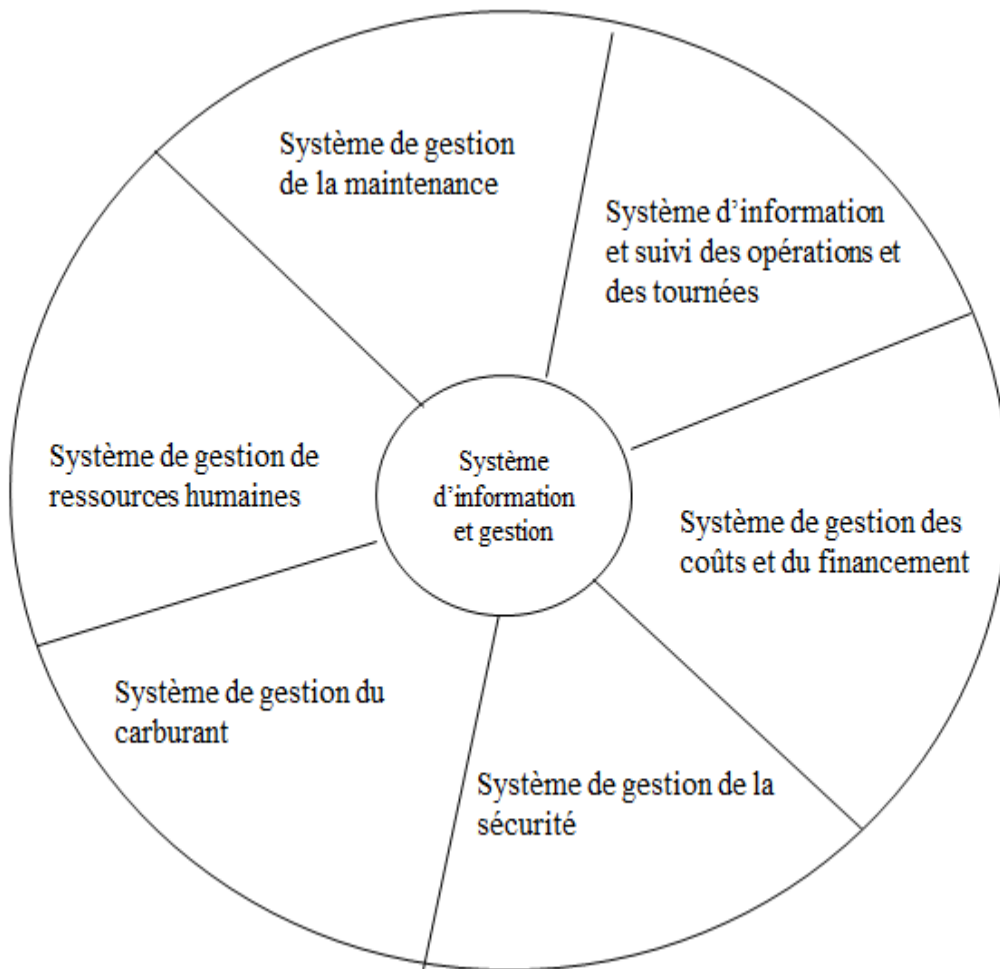


Figure 5. 12 : Composantes d'un système global d'information et de gestion.



Les logiciels de gestion d'actifs permettent aux gestionnaires de gérer des parcs de façon optimale, mais ils doivent identifier parfaitement leurs besoins pour choisir l'application la plus adaptée selon leur utilité tels que des systèmes d'information de gestion de la maintenance, des systèmes de gestion de la force de travail, des systèmes automatisés de carburant et les transactions de carburant aux points de vente externes (Bilbona, 2003).

Pour faire de la gestion de flottes de véhicules, les solutions deviennent des suites logicielles qui couvrent un large spectre, tout en restant ouvertes sur des produits tiers spécialisés. Toutes ont plus ou moins les mêmes fonctionnalités dépendant de l'application (Tanguy, Gagné et Dubois, 2001).

Dans un système de gestion des véhicules, l'intégration de l'acquisition automatique de données est utilisée pour automatiser les processus menant à une plus grande efficacité, et l'analyse de données complexes est en train de devenir dominante après des décennies de saisie simple de données et de rapports. Ceci constitue le sujet de la section suivante.

### **5.2.1. L'acquisition automatique de données**

Une des lacunes importantes à laquelle peuvent se confronter les gestionnaires des flottes est la mauvaise qualité des données disponibles. Dans ces conditions, la recommandation est de mettre en œuvre des pratiques appropriées pour le processus d'acquisition de données.

L'intégration de l'acquisition automatique de données à un système de gestion des véhicules de flotte est donc une façon de minimiser les erreurs inhérentes à la collecte et la saisie manuelle des données (Wyrick et Eseonu, 2008). Cette stratégie permet de contrôler les ressources de manière plus efficace, d'améliorer l'obtention des mises à jour plus fréquentes et, en conséquence, d'améliorer la productivité.

La gestion d'actifs implique un coût d'entretien efficace et l'exploitation adéquate de ressources physiques d'une organisation. Elle exige de l'ingénierie, une notion de principes économiques et fournit un cadre pour la gestion de la planification à court et à long terme. L'efficacité de ces décisions de planification dépend de l'accès en temps opportun à des

données précises (Wyrick et Eseonu, 2008). Ceci constitue un moteur important de la réussite d'une organisation.

Avec l'augmentation des contraintes budgétaires et les exigences de service, il est nécessaire que les gestionnaires prennent les mesures nécessaires pour optimiser l'utilisation de la flotte à travers la mise en œuvre de pratiques de gestion, ce qui signifie de maximiser l'utilisation des véhicules tout en mettant en pratique des activités de maintenance prédictive. De plus, les gestionnaires doivent être capables de déterminer les cycles de vies optimales de leurs parcs par le biais de l'analyse de données récentes et fiables. Le processus d'acquisition automatique des données est l'un d'une série d'outil d'amélioration de gestion des flottes.

Les objectifs et les exigences pour l'automatisation du processus d'acquisition de données incluent ce qui suit (Wyrick et Eseonu, 2008) :

- Identification des besoins en information de gestion de flotte de véhicules ;
- Compréhension des exigences, des capacités et des limites des systèmes automatisés d'acquisition de données ;
- Une bonne compréhension de l'interface d'acquisition de données, en particulier les exigences, capacités et les limites des technologies sans fil ;
- Identification de la différence entre la capacité d'utilisation potentielle avec le système et l'infrastructure actuelle, y compris le matériel, les logiciels et les aspects humains ;
- Intégration des considérations relatives au cycle de vie et des mesures de rendement dans la conception d'un système automatisé d'acquisition de données du véhicule.

La disponibilité des données historiques est nécessaire pour la prévision précise des défaillances et pour la planification de l'inspection optimale et des opérations de maintenance. La gestion informatisée du travail permet la collecte et le stockage de dites données.

Afin d'améliorer la qualité des données utilisées dans la détermination du cycle de vie économique des actifs, certaines données doivent nécessairement être collectées comme, par exemple, le taux de consommation de carburant, le kilométrage du véhicule, les produits consommables achetés sur la route et d'autres éléments qui doivent être transcrits dans la base de données appropriée.

Par l'automatisation du processus de transfert de données, l'entreprise aurait accès à des informations exactes et des renseignements à jour qui faciliteraient la gestion de flotte.

### **5.2.2. Les systèmes de transport intelligents**

Les systèmes de transport intelligents (STI) appliquent des technologies avancées et émergentes, telles que les logiciels, les capteurs, les commandes en plus de la communication et des dispositifs électroniques pour le transport. Certaines de ces technologies sont déjà en cours d'utilisation, tandis que d'autres sont en cours d'élaboration pour améliorer les transports dans le monde entier.

Dans le but de renforcer l'industrie des STI, de promouvoir ses applications et la coopération gouvernement-industrie, un organisme à but non lucratif existe, appelé Systèmes de transport intelligents, Société du Canada (STI Canada)<sup>5</sup>.

Avec les STI, les systèmes informatiques et de communication sont intégrés afin d'offrir un lien intelligent entre les voyageurs, les véhicules et l'infrastructure (Federation of Canadian Municipalities (FMC), 2010).

Les STI comprennent une vaste gamme d'outils pour rendre les systèmes de transport plus efficaces. Certains de ces outils sont les systèmes de positionnement global (GPS) et la technologie sans fil.

Certaines entreprises privées de camionnage et les municipalités nord-américaines utilisent depuis très peu de temps des technologies de GPS (Global Positioning System) déjà installées dans leur parc de véhicules et des logiciels liés à leurs réseaux sans fil existants

---

<sup>5</sup> <http://www.itscanada.ca/>

(Wi-Fi). En effet, un nombre croissant d'activités économiques utilisent les systèmes de localisation GPS. Ceci concerne les activités de dépannage, les transports ambulanciers, l'assistance sur route, la livraison, la location de véhicules, etc.

Le développement à l'échelle mondiale des systèmes de gestion de flottes ainsi que la disponibilité de technologies de communication performantes ouvre de nouvelles perspectives en matière de mobilité. Dans ce contexte, il est important de faire le point sur l'étude des systèmes de gestion de flotte par GPS et sur la classification des différentes techniques de transmission de données dans les réseaux locaux sans fils (Wireless Local Area Networks : WLAN). Les lignes qui suivent sont consacrées à ces deux notions, notamment à partir du travail réalisé par (Chebbi, 2007).

#### **5.2.2.1. Systèmes de gestion de flottes par GPS**

Le système de gestion de flottes par GPS est conçu non seulement pour contrôler une flotte de véhicules en mouvement mais aussi peut être utilisée dans des applications autres que le suivi des véhicules. On y trouve notamment, la présentation de toutes les unités en mouvement sur des cartes numériques, le suivi de véhicules de transport de fonds, le suivi de produits et la sécurité pour les chauffeurs, la surveillance maritime, le suivi et la sécurité pour les organisations humanitaires dans les régions à haut risque et la communication vocale.

Le système de gestion de flotte par GPS est basé sur une application dans une station centrale de gestion de flotte et des dispositifs mobiles dans les véhicules ou tout autre type de transport qu'on souhaite contrôler. La Figure 5.13 indique l'architecture générale d'un système de gestion de flotte par GPS (Chebbi, 2007).

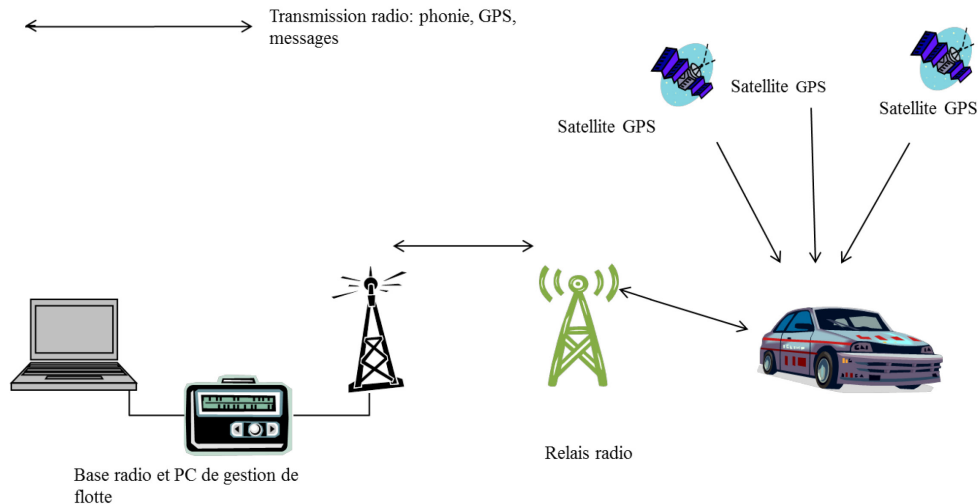


Figure 5. 13 : Architecture générale d'un système de gestion de flotte par GPS.

La technique de localisation basée sur le GPS est un choix approprié pour un système de gestion de flotte compte tenu des avantages tels que sa technologie de réception disponible et maîtrisée, ses services et ses performances évolutifs fournis ainsi que sa couverture.

Les systèmes de gestion de flotte basés sur les GPS et leurs solutions dépendent des diverses conditions déterminant la taille, l'exactitude, les contraintes économiques, l'efficacité, la productivité et la rentabilité.

Selon le mode de transmission des données, ils peuvent se classer en trois types : Systèmes de gestion de flotte actifs, systèmes de gestion de flotte passifs et systèmes de gestion de flotte hybrides.

D'abord, les systèmes de gestion de flotte actifs (On Line), appelés AVL (Automatic Vehicle Location), permettent le contrôle des véhicules grâce à leur poursuite et leur localisation en temps réel et l'acheminement des informations respectives à un centre de commande distant. En plus d'entrer en contact continu avec leurs véhicules et de déterminer leur localisation, ils permettent de rechercher immédiatement d'autres données d'utilisation des véhicules.

Les techniques réelles de détermination et de transmission de positions changent, selon les besoins de la flotte et la technologie choisie. Typiquement, l'information concernant la

position d'un véhicule, sa vitesse et sa direction sont stockées sur le véhicule pendant un certain temps, qui peut aller de quelques secondes jusqu'à plusieurs minutes. L'information de position peut alors être transmise au centre de commande en forme brute ou traitée à bord du véhicule avant sa transmission.

Ensuite, les systèmes de gestion de flotte passifs (Off Line) n'ont pas besoin de transmission des données en temps réel. Chaque véhicule possède un dispositif qui stocke les informations de positionnement par GPS et par la suite les charge dans un PC lorsque le véhicule retourne au parc de l'entreprise. Ce système est conçu pour contrôler leurs flottes en passant en revue l'utilisation des véhicules. Les gestionnaires de flotte veulent souvent dépister l'information, par exemple, où et quand les véhicules de livraison s'arrêtent et pour quelle durée, ou produire des rapports d'excès de vitesse, etc. En général, le matériel de système passif est moins cher que le matériel de système actif.

Finalement, les systèmes de gestion de flotte hybrides combinent les systèmes actifs et passifs. Ce système est utile pour les compagnies qui veulent l'information de localisation fournie par les solutions passives, en plus de la capacité de localiser un véhicule immédiatement. Ces systèmes sont certainement plus rentables que des systèmes de gestion de flotte actifs. Parce qu'ici, on diminue les intervalles de poursuite en temps réel, réduisant ainsi les coûts de transmission par GSM, et en même temps, on peut avoir accès aux informations détaillées de poursuite quand les données sont téléchargées, au retour, en exploitant un autre moyen de transmission de données avec ou sans fil.

#### **5.2.2.2. Le réseau sans fil**

Un réseau sans fil est un réseau dans lequel les machines participantes ne sont pas raccordées entre elles par un médium physique qu'il soit de type câble en cuivre ou fibre optique. La transmission des données entre les nœuds constitutifs du réseau se fait sur une base d'ondes hertziennes (radio, infrarouge). Ce type de réseau permet de relier divers équipements distants, et cela, dans un périmètre allant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres selon les fréquences et les puissances utilisées.

En fait, pour la gestion de flotte, ces réseaux sans fil ont plusieurs avantages tels que :

- La mobilité : Un utilisateur doit pouvoir se déplacer librement tout en conservant la connectivité au réseau.
- La flexibilité : L'absence de connexion câblée pour chaque hôte du réseau apporte une grande liberté de mouvement aux utilisateurs et facilite le déploiement de nouveaux réseaux.
- Le coût d'infrastructure très réduit : les coûts d'installation et de maintenance sont presque nuls (il n'y a pas de câbles à poser et les modifications de la topologie du réseau n'entraînent pas de dépenses supplémentaires).
- L'inter connectivité avec les réseaux locaux : Les réseaux locaux sans fil sont compatibles avec les réseaux locaux existants, comme c'est le cas des réseaux Wi-Fi et Ethernet, par exemple, qui peuvent coexister dans un même environnement.
- La fiabilité : Une bonne conception d'un réseau local sans fil permet au signal radio d'être transmis et procure des performances similaires à celles d'un réseau local filaire.

### *Classification des réseaux sans fil*

Un classement des réseaux sans fil peut s'effectuer en fonction de la distance, ou portée, entre points d'accès et stations, comme illustré à la Figure 5.14 (Chebbi, 2007).

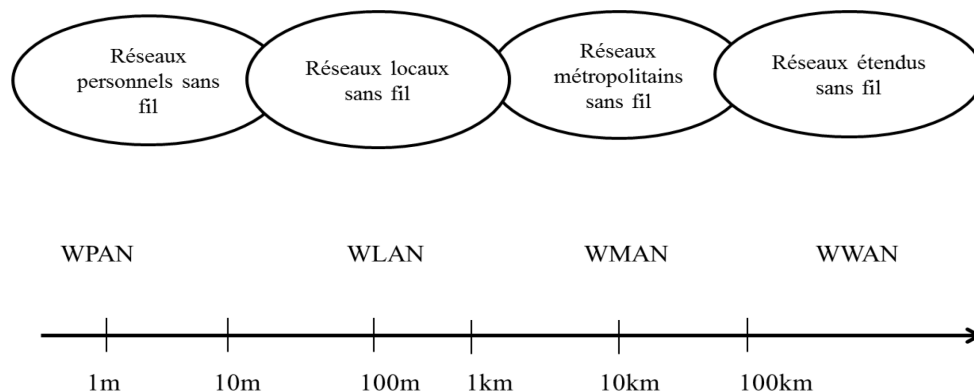


Figure 5. 14 : Classification des réseaux sans fil selon la portée.

- Les tous petits réseaux sans fil, ou WPAN (Wireless Personal Area Network), d'une portée d'une dizaine de mètres.
- Les réseaux d'entreprise sans fil, WLAN (Wireless Local Area Network), d'une portée de l'ordre de quelques centaines de mètres.
- Les réseaux à la taille d'une métropole, ou WMAN (Wireless Metropolitan Area Network), d'une portée de quelques kilomètres. On parle plutôt dans ce cas de boucle locale radio, ou BLR.
- Les réseaux étendus sans fil, ou WWLAN (Wireless Wide Local Area Network), d'une portée de plusieurs centaines de kilomètres. Il s'agit là de la taille globale du réseau plutôt que de la distance entre le terminal et l'antenne. Un tel réseau est obtenu par un ensemble de cellules qui recouvre la surface que souhaite desservir un opérateur.

#### Le réseau *Wi-Fi*

Un réseau Wi-Fi est en réalité un réseau répondant à la norme IEEE 802.11.<sup>6</sup> Il permet de constituer des réseaux entiers sans fils, ou les données sont transmises par des ondes électromagnétiques. Le procédé Wi-Fi capture des informations de localisation de véhicule en utilisant le GPS et l'envoie à partir du véhicule à un réseau cellulaire existant. Par exemple, quand un véhicule de la flotte passe à travers une zone avec couverture Wi-Fi, l'information est automatiquement envoyée par le véhicule au réseau de l'entreprise, sans que le conducteur n'ait à faire quoi que ce soit.

Grâce au Wi-Fi, il est possible de créer des réseaux locaux sans fils à haut débit pour peu que l'ordinateur à connecter ne soit pas trop distant par rapport au point d'accès. Dans la pratique, le Wi-Fi permet de relier des ordinateurs portables, des ordinateurs de bureau, des assistants personnels (PDA) ou tout type de périphérique à une liaison haut débit (11 Mbps ou supérieur) sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre

---

<sup>6</sup> La norme IEEE 802.11 est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN).



une vingtaine et une cinquantaine de mètres à plusieurs centaines de mètres en environnement ouvert) (Chebbi, 2007).

La technologie Wi-Fi semble la plus appropriée de point de vue débit, distance, type d'informations et surtout application. En outre, le Wi-Fi permet de réduire les coûts de câblage, leurs collaborateurs deviennent nomades et les clients, fournisseurs et visiteurs peuvent se connecter sans contraintes.

### **5.3. Gestion des véhicules usagés**

Un plan de mise hors service comprend toute activité liée à l'élimination d'un actif hors service y compris la vente, la démolition ou la relocalisation (Narrabri Shire Council, 2011). Il est souhaitable que tout véhicule qui ne peut pas être réparé de manière rentable, soit remplacé lorsque le financement devient disponible.

Typiquement, les véhicules hors d'usage (VHU), incluant les véhicules accidentés, appartiennent aux assureurs, aux garagistes, aux concessionnaires automobiles, aux particuliers et aux entreprises ou organisations publiques et privées. Ce sont ces intervenants qui acheminent le VHU vers un recycleur.

L'acheminement d'un VHU vers le recyclage peut prendre deux formes : la vente directe à un recycleur ou la vente à l'encan en vue d'une prise de possession par un recycleur.

#### **5.3.1. La problématique des véhicules en fin de vie**

Depuis la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, le nombre d'effectifs ne cesse d'augmenter et devient un nombre significatif en fin de vie. Des centaines de milliers de véhicules qui arrivent en fin de vie utile doivent être éliminés correctement. Chaque année, près de 400,000 voitures récentes sont vendues au Québec. Le parc de véhicules est toutefois stable et n'augmente que d'environ un pour cent par année (Matte, 2007). Le Tableau 5.8 montre l'augmentation du nombre d'automobiles et camions légers, entre 2003 et 2007, en circulation au Québec<sup>7</sup> :

---

<sup>7</sup> SAAQ (Société de l'assurance automobile du Québec), 2007

IMMATRICULATION AU QUÉBEC	2003	2004	2005	2006	2007
Automobiles (unités)	2 941 570	2 989 631	3 013 566	3 040 962	3 072 791
Camions légers (unités)	1 190 430	1 235 947	1 279 831	1 330 747	1 392 495
Total automobiles et camions légers (unités)	4 131 999	4 225 577	4 293 397	4 371 708	4 465 286
Pourcentage de camions légers (%)	28.8	29.2	29.8	30.4	31.2

Tableau 5. 8 : Automobiles et camions légers en circulation au Québec.

Cependant, suite de la réalisation du bilan 2006 des déchiqueteurs de véhicules hors d'usage au Québec, RECYC-QUÉBEC<sup>8</sup> estime que plus de 618 000 véhicules hors d'usage (automobiles et camions légers) ont été recyclés en 2006. De ce nombre, 463 000 véhicules provenaient du Québec. Le recyclage de tous ces véhicules hors d'usage a généré plus de 232 000 tonnes métriques de résidus de broyage automobile qui représentent un volume important de matière à gérer. Les camions lourds ne figurent pas dans le bilan 2006, parce que ceux-ci sont découpés au lieu d'être déchiquetés. Ils font l'objet d'un recyclage différent.

Par ailleurs, tous les acteurs de la scène internationale accordent de plus en plus d'importance aux questions environnementales. Nombre de pays industrialisés ont choisi de relever ces défis et de mettre en place des lois strictes, avec des échéanciers préétablis, obligeant les industriels à réduire et à valoriser leurs rejets et leurs produits en fin de vie. Ainsi, les secteurs des transports, sources considérables de déchets, ont déjà fait l'objet de lois régissant la gestion en fin de vie de ces produits dans de nombreux pays, notamment en Europe. Les produits mis au rebut doivent être éliminés dans l'observance de règles strictes, s'assurant de l'application de pratiques respectueuses de l'environnement (Siles, 2011).

<sup>8</sup> <http://www.recyq-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/accueil.asp>

Des matières premières qui composent les véhicules, les trois quarts (principalement des métaux) sont recyclées, réutilisées ou récupérées, tandis qu'un quart (surtout des matières plastiques et du verre) ne l'est pas, car cette part de résidus non-métalliques est difficile à recycler. Par ailleurs, les matières plastiques et le verre tendent de plus en plus à remplacer le métal en raison de la réduction du poids du véhicule, ce qui permet aussi de réduire la consommation de carburant.

Un véhicule hors d'usage représente une tonne et demie de matériaux et de résidus en moyenne. Les véhicules mis à la ferraille chaque année au Québec produisent environ 150 000 tonnes de résidus non-métalliques qui aboutissent dans des sites de décharge. Le Québec commence à manquer de l'espace à cet effet. Selon un organisme de protection de l'environnement, l'AQLPA, d'ici cinq ans, les cinq principaux sites de décharge ou d'enfouissement sanitaire au Québec seront pleins (Matte, 2007). Ces sites deviennent de plus en plus rares, chers et suscitent des préoccupations sur les effets nocifs potentiels pour l'environnement.

Face à ces problèmes, le gouvernement a mis en place des directives pour la réduction de l'impact environnemental des VHU. Depuis janvier 2007, les constructeurs automobiles sont responsables du recyclage de tous les véhicules, sans considération aucune pour l'âge du véhicule. En outre, cette directive met en place des règles strictes avec des échéanciers tout aussi strictes. Ainsi, la Table de concertation sur l'environnement et les véhicules routiers de Québec espère atteindre d'ici 2015, un taux de récupération/recyclage de 95 % en poids de tous les VHU. Cela exigera un effort de toutes les parties impliquées dans cette industrie pour innover dans les aspects suivants (Matte, 2007) :

- Conception des nouveaux véhicules et des matériaux de plus en plus recyclables ;
- Identification de chaque pièce à l'aide de codes appropriés ;
- Démontage de pièces simplifié ;
- Réduction du nombre de matériaux composites ;

L'atteinte de ces objectifs implique un complet renouvellement de l'industrie automobile dans un cadre de technologie de pointe, qui comprendra des centres de traitement des VHU, des réseaux de recyclage, des désassembleurs et des broyeurs. La nécessité de récupération, d'élimination propre ou de réutilisation se fait donc de plus en plus essentielle et les entreprises, à la lumière des lois, décrets et pressions sociales, pourront de moins en moins y déroger.

Le principal but de ces initiatives est, d'une part, de limiter les déchets issus des véhicules et, d'autre part, d'encourager la réutilisation, le recyclage et les autres formes de valorisation des VHU et de leurs pièces détachées, afin de réduire le volume de déchets. En outre, ce sont des directives visant à améliorer la performance environnementale de tous les agents économiques impliqués dans le cycle de vie des véhicules, et, notamment, le manufacturier qui doit prendre en charge la gestion de son produit en fin de vie. Cela signifie la mise en pratique du principe de responsabilité élargie des producteurs.

### **5.3.2. Stratégies de mise hors service des véhicules usagés**

Cette stratégie vise à offrir aux gestionnaires une technique conceptuellement simple pour la détermination de la quantité de stocks excédentaires qu'une flotte doit éliminer, à partir de la revue de littérature menée par (Willoughby, 2010) appliquée au contexte de remplacement des équipements. Dans ce contexte, des stocks excédentaires peuvent survenir en raison de la disponibilité d'un équipement de meilleure qualité et moins cher. Le matériel plus ancien, par conséquent, devient en «excès» en comparaison avec les exigences actuelles de la flotte. L'obsolescence technique ou de la détérioration physique peut aussi rendre plus ancien et inutile l'équipement (Willoughby, 2010) <sup>9</sup>.

Le fait de se débarrasser des véhicules excédentaires ou inefficaces du point de vue de la consommation d'énergie est connu sous le nom de réduction des effectifs. Une stratégie efficace de réduction des effectifs peut s'avérer fort utile à la réduction de la taille de la flotte en autant que 20 pour cent.

---

<sup>9</sup> Trouvé le 26 septembre 2011 sur : <http://www.edwards.usask.ca/faculty/Keith%20Willoughby/files/Excess%20stock%20disposal.pdf>

Une stratégie efficace de réduction des effectifs repose sur (Federation of Canadian Municipalities (FMC), 2010):

1. L'élaboration d'un inventaire de la flotte et des données d'utilisation des véhicules.
2. L'identification des véhicules qui peuvent être réaffectés ou éliminés.
3. La planification de comment conserver ou supprimer les véhicules que ont été identifiés à l'étape 2.

Plusieurs modèles ont été élaborés pour examiner la disposition des stocks excédentaires. Le résultat de ces efforts de modélisation est la quantité (et dans le cas de certains modèles, le moment) de l'élimination des stocks excédentaires.

Il y a des modèles qui considèrent la décision d'élimination dans l'isolement (élimination stricte) et ceux pour lesquels le choix d'élimination est combiné avec une décision d'acquisition, appelé «hybride».

Les modèles d'élimination dans l'isolement sont subdivisés en ceux qui examinent l'utilisation déterministe ou stochastique. Toutefois, un plus grand effort doit être placé à relier les décisions d'acquisition et de l'élimination, plutôt que d'examiner la décision d'élimination dans l'isolement (Willoughby, 2010).

De cette façon, l'attention doit se tourner vers un examen des approches analytiques qui combinent l'acquisition et les décisions d'élimination, dans le cadre de remplacement de l'équipement. La décision d'élimination se compose désormais de la quantité d'unités excédentaires à éliminer, ainsi que le calendrier des cessions.

Comme le matériel vieillit et se détériore, il peut être remplacé par des machines plus récentes et de meilleure qualité. Par conséquent, l'ancien équipement pourrait être considéré comme "l'excès" aux exigences actuelles de l'organisation. L'entretien annuel et les coûts d'exploitation ont tendance à augmenter avec le vieillissement de l'équipement. Les valeurs de récupération ont tendance à travailler dans la direction opposée, vu que les anciens équipements deviennent moins intéressants. Dans ce cas, les valeurs de récupération ne

sont pas constantes d'une année à l'autre. Plutôt, ils dépendent de l'année de cession de l'actif. Pourtant, au cours d'une période de temps donnée, une année par exemple, les chercheurs ont supposé que la valeur de sauvetage était constante.

La récupération des sommes lors de la revente des équipements est une stratégie qui combine l'acquisition du nouvel équipement et les décisions d'élimination. Cette facette à elle seule représente un élément important dans les coûts du cycle de vie en gestion de flotte de véhicules. Ainsi, si on laisse au gestionnaire l'opportunité de récupérer la valeur résiduelle, soit par la vente lors de l'achat d'un équipement neuf ou lors de la vente par soumission ou autres moyens jugés optimaux, alors l'impact sur le budget d'immobilisation sera majeur et toutes les parties prenantes auront avantages à maximiser la valeur de revente des équipements.

D'un point de vue pratique, le couplage de la décision d'acquisition et d'élimination devrait être utile dans des situations où il existe une demande très incertaine pour un produit. Des produits, tels que les équipements, sujets à l'obsolescence technique rapide peuvent également être des candidats appropriés pour ces types de modèles (Willoughby, 2010).

## Conclusion

Le renouvellement est souvent l'une des dernières options pour maximiser la rentabilité dans une économie mondiale concurrentielle en raison de sa complexité intrinsèque. Toutefois, le lien de ce concept avec la gestion d'une flotte de véhicules pour l'amélioration et le maintien de la productivité à travers une utilisation rationnelle des infrastructures est indéniable.

À partir de la revue de littérature concernant les méthodes de renouvellement, on constate que la plupart de modèles satisfont les besoins particuliers des flottes spécifiques. Il y a donc un manque important de couvrir le sujet d'une façon globale, qui touche des concepts sous le plan stratégique de l'entreprise, le plus proche possible des problèmes auxquels se voient confrontés les gestionnaires. Ainsi, l'ensemble d'outils, proposés dans ce mémoire, proviennent de diverses disciplines et visent l'amélioration de la productivité en faisant une meilleure utilisation des infrastructures existantes qui se traduisent par la minimisation des coûts économiques et des impacts environnementaux liés à l'exploitation d'un réseau, le tout en tirant profit des dernières technologies.

Les disciplines concernées sont entre autres, la gestion, les systèmes d'information, les finances, la recherche opérationnelle, la maintenance et la fiabilité. Plusieurs concepts, méthodes et modèles issus de littérature pour résoudre un problème spécifique concernant le renouvellement sont considérés.

Ces concepts ont été analysés de façon à comprendre le sujet en sa dimension d'abord générale et après particulière. Ainsi, un cadre général, le processus de renouvellement, la sélection de nouveaux véhicules, les aspects financiers et les systèmes de gestion sont des concepts permettant la compréhension globale du problème.

Le cadre général du renouvellement donne une vue d'ensemble et aide à comprendre les facteurs qui ont une incidence directe sur les décisions concernées. Les gestionnaires nécessitent prendre en considération plusieurs notions qui touchent le renouvellement en tant que processus intimement lié à la gestion d'une flotte de véhicules.

Le processus de renouvellement est analysé en tenant compte plusieurs aspects, notamment, les étapes pour effectuer le processus comme tel, les différents modèles disponibles dans la littérature pour le choix de véhicules à remplacer, parmi lesquels une attention particulière est accordée à la méthode multicritère car elle tient compte des diverses variables qui décrivent le comportement réel de l'équipement.

La plupart de modèles présentés montrent que les critères à caractère économique demeurent les plus marquants. Cependant, les caractéristiques actuelles de la demande et les exigences du gouvernement en matière de développement durable indiquent que les critères technologiques et environnementaux doivent être aussi considérés.

Pour soutenir les processus de décision et recommander des mesures qui aideront dans les étapes de la sélection des nouveaux véhicules, menant à un parc jeune et vert, un croisement des facteurs techniques, financiers et environnementaux est conseillé pour choisir la meilleure alternative de remplacement.

Par ailleurs, différentes stratégies de remplacement sont analysées et comparées dans le but de contribuer à la réduction des émissions. Outre les carburants ordinaires tels que l'essence ou le diesel, qui incluent les types de motorisation et de carburant, un éventail d'options est analysé sur la base des coûts économiques, des effets sur l'environnement et des conditions technologiques pour leurs mises en application.

Les aspects financiers sont implicites aux décisions d'investissement en équipement. Puisque le renouvellement se fait dans le cadre d'un budget et de disponibilité des fonds déterminé, le calcul des coûts d'exploitation, de la maintenance et des coûts de remplacement avec les implications économiques associées à sa mise en œuvre est nécessaire. De même, il est important de prévoir les ressources financières pour l'acquisition des nouveaux véhicules en incluant de contraintes budgétaires.

Par ailleurs, l'évaluation des alternatives de financement, ayant pour but de déterminer la moins coûteuse, doit être faite afin de compléter les projections financières, et ce, en tenant compte des hypothèses dans les prévisions. D'autres notions comme la dépréciation,



l'analyse du coût du cycle de vie et l'analyse des coûts sous différents scénarios de renouvellement complètent l'analyse.

Un système de gestion efficace est nécessaire à la promotion de l'innovation, à la réduction des coûts, à l'amélioration de la productivité et de l'efficacité et à la gestion des risques sociaux, environnementaux et financiers.

D'abord, le système de gestion de la maintenance a pour objectif l'amélioration de la disponibilité, de la maintenabilité et de la fiabilité de la flotte pour répondre aux demandes des clients et faire face au vieillissement des véhicules. Ensuite, les systèmes d'information intégrés permettent aux gestionnaires de surveiller le rendement réel de la flotte, faire des améliorations constantes de la gestion et proposer des modèles de renouvellement selon les particularités de chaque flotte. Finalement, la gestion des véhicules usagés répond à la problématique des véhicules en fin de vie et la détermination de la quantité optimale d'élimination.

Plusieurs perspectives découlant de ce document peuvent être envisagées. L'une peut être de développer un modèle de remplacement à plusieurs critères et qui considère une analyse de sensibilité pour déterminer l'effet relatif des différentes valeurs des paramètres du modèle sur la solution globale.

L'analyse de sensibilité met sans aucun doute en valeur les variables qui ont le plus grand poids sur la solution globale. Des travaux supplémentaires peuvent aussi être utiles pour caractériser le problème de remplacement lorsque plusieurs technologies sont actuellement disponibles sur le marché, et l'hypothèse que plus d'une nouvelle technologie peut apparaître dans l'avenir.

La plupart des recherches discutées dans ce mémoire mettent en évidence le besoin du traitement de la demande stochastique. En outre, la considération des variables technologiques, environnementales et pas seulement économiques, qui d'ailleurs peuvent avoir différentes unités de mesure, semble être une bonne option pour les futurs modèles.

Somme toute, il est souhaitable que les gestionnaires soient sensibilisés au besoin d'avoir un plan de renouvellement pour améliorer la performance et la rentabilité de la flotte. Les outils présentés les aideront à titre de guide lors de la prise de décisions.

## Bibliographie

- Aït-Kadi, D. (2008, Décembre). Modèles d'évaluation et d'optimisation de la disponibilité des systèmes. *Bulletin d'information de l'académie Hassan II des sciences et techniques*(4), pp. 13-19.
- Aït-Kadi, D. (2011). *Fiabilité des systèmes*. Notes de cours. Québec: Université Laval.
- Albany City. (2011). *Asset Management Plan - Fleet and Plant*. Document reference. Albany: Council Strategy. p.36.
- Bilbona, S. (2003, January/February). Establishing a Cost Effective Fleet Replacement Program. *Fleet Financials*, p.6.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2005). *Engineering Economy*. New York: McGraw Hill. pp.144-230
- Cégep de Sherbrooke. (1991). *Gestion de la maintenance industrielle*. Document de référence. Québec: Bibliothèque nationale du Québec. p.30.
- Chebbi, Y. (2007). *Intégration d'un service de communication WLAN dans un système de gestion de flotte par GPS*. Rapport de fin d'études. Tunis: École supérieure des communications.
- Couillard, J. (1993). A Decision Support System for Vehicle Fleet Planning. *Decision Support System*, 149-159.
- CRC Press LLC. (2004). Motor fleet safety and security management. pp. 1-6.
- Cunningham, A. (2007). Not-so-Clear Alternative: In Its Air-Quality Effects, Ethanol Fuel Is Similar to Gasoline. *Science News*, pp. 278-280.
- D. Automotive Consultants inc. (2006, April 15). Observations. *Twenty Trends Shaping the Canadian Automotive Aftermarket*, p. 20.
- Delache, X. (2008, Décembre 3). Fiabilité des transports. *Quelques éléments d'analyse économique*, 96. Document de travail. SDS-ERA-08-071/XD . Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire: OCDE.
- Dietz, D., & Katz, P. (2001, Sep. - Oct.). US WEST Implements a Cogent Analytical Model for Optimal Vehicle Replacement. *Interfaces*, Vol 31(No.5), pp. 65-73.
- Drinkwater, R., & Hastings, N. (1967, Jun). An Economic Replacement Model. *Operational Research Society, OR, Vol. 18*(No. 2), pp. 121-138.
- Etezadi , T., & Beasley, J. E. (1983). Vehicle Fleet Composition. *The Journal of the Operational Research Society, Vol. 34*(No. 1), pp. 87-91.
- Federation of Canadian Municipalities (FMC). (2010). Enviro-Fleets: Reducing Emissions from Muncipal Heavy-duty vehicles. A Guide to Helpful Ressources.
- Flores, L. (2010). *Audit of Fleet Utilization and Replacement*. Palo Alto, Florida: City Council.
- Gagné, C., & Dubois, M. (2011). *État de l'art en matière de véhicules électriques et sur la technologie V2G*. Rapport technique RT-LVSN-2011-0. Québec: Université Laval.
- Goghrod, H., Martel, J.-M., & Aouni, B. (2001, Avril). Une approche multicritère pour la gestion d'un parc de matériel roulant. *3e Conférence Francophone de Modélisation et Simulation «Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels»*, (pp. 921-928). Troyes.

- Gouvernement du Québec. (2008). *Le Québec et les changements climatiques. Un défi pour l'avenir. Plan d'action 2006-2012*. Québec.
- Hébert, L. (2008). *Évaluation de l'utilisation du propane comme carburant de remplacement pour les flottes de véhicules légers au Québec*. Montréal: HEC. 54p.
- Ichoua, S. (2001). *Problèmes de gestion de flottes de véhicules en temps réel*. Thèse. Montréal: Université de Montréal.
- International Transport Forum. (2011). *Car Fleet Renewal Schemas: Environmental and Safety Impacts*. Technic Report. OECD/ITF.
- Irving, B., Trueman, B., Fitzgerald, C., Corbet, M., Olivia, F., & Lee, R. (2011). *Alternative Vehicle Fleet at Dalhousie University*. Tecnic Report. Halifax: Dalhousie University.
- Jardine, A. K. (2011). Optimizing Maintenance and Replacement Decisions. Dans J. D. Campbell, A. K. Jardine, & J. McGlynn, *Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions* (pp. 259-269). Boca Raton FL: CRC Press.
- Kageson. (2009). *Aspects environnementaux du transport interurbain de voyageurs*. OECD. Document de référence n° 2009-28. Stockholm: Nature Associates.
- Kriett, P. (2009). *Equipment Replacement Priorization Measures: Simulation and Testing for a Vehicle Fleet*. Thesis of Master of Science in Industrial Engineering. Oregon University. Corvallis: Oregon State University Libraries.
- Lauria, P. (2007). Rent Lease buy Decision Making. *25th Management Conference and Annual Meeting* (pp. 1-40). Corpus Christi: Mercury Associates, Inc.
- Les eaux, F. (2010). *Maintenance industrielle*. Consulté le Juin 5, 2012, sur Cours de stratégie de maintenance: <http://btsmiforges.free.fr/>
- Lorenzi, P. (2006). *Diagnostic de flotte automobile : l'exemple de la communauté d'agglomération de Montauban Trois Rivières*. Rapport technique. Montauban: CA de Montauban Trois Rivières.
- Maheshwari, S., & Credle, S. H. (2008). The Development of a Fleet Vehicle Replacement Policy for a Federal Government Contractor. *Proceedings of the International Academy for Case Studies, Vol. 15*(No. 1), pp. 31-36.
- Martel, J. (1999). L'aide multicritère à la décision: Méthodes et applications. *CORS-SCRO Bulletin*, pp. 6-16.
- Matte, S. (2007). *La gestion des véhicules hors d'usage (VHU) au Québec*. Rapport technique. Québec: ARPAC.
- Mena, S. B. (2000, Février 23). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnologie. Agro. Environ., Vol. 4* (No. 2), pp. 83-93.
- Ministry of Transports. (2006). *Vehicle Replacement and Kilometre Operating Costs Tool Users Guide*. New South Walles: (NSW).
- Monchy, F. (2003). *Maintenance, méthodes et organisations*. Dunod: L'usine nouvelle, pp. 137-233.
- Morse, C. L., & Bean, J. C. (1998). *Fleet Vehicle Replacement with Budget Constraints*. Technical Report. Ann Arbor: University of Michigan. 20p.
- Nair, S. K., & Hopp, W. J. (1992). A Model for Equipment Replacement due to Technological Obsolescence. *European journal of Operational Research*, 63, pp. 207-221.
- Najahi, Y. (2003, mai). *Outils d'aide à l'implantation d'un système de gestion de la maintenance*. Mémoire de Maîtrise. Québec: Université Laval.

- Narrabri Shire Council. (2011). *Storm Water. Asset Management Plan*. Technical Report. Narrabri: The Institute of Public Works Engineering Australia.
- OCDE. (2011). *Car Fleet Renewal Schemas: Environmental and Safety Impacts*. Technical Report. OCDE.
- Organization for Economic co-operation and Development (OCDE). (2004). *Voiture propres: Stratégies pour des véhicules peu polluants*. rapport technique. OCDE.
- Saaty, T. L. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 83-98.
- Sarache, W. A., Castrillon, O., Gonzales, G., & Viveros, A. (2009, Enero-Junio). A Multi-criteria Application for an Equipment Replacement Decision. *Ingenieria y Desarrollo. Universidad del Norte*, No. 25. ISSN: 0122-3461. pp. 80-98.
- Schoeling, O., Lievens, E., & Jossart, J.-M. (2008). *Exemples de flottes de transport public utilisant des alternatives aux énergies fossiles dans différentes villes européennes*. Réf. 2008\_OS\_EL\_JMJ\_08. Document « FARR-Wal » - Avec le soutien de la Région wallonne, DG Agriculture. Namur: TEC.
- Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. (2009). *Guide sur la gestion du parc automotoile*. ISBN 978-1-100-91666-8.
- Siles, C. (2011). *Aide à la décision pour la gestion d'un parc d'avions en fin de vie*. Rapport technique. Montréal: École polytechnique de Montréal.
- Sloan, T. W. (2011). Green Renewal: Incorporating Environmental Factors in Equipment Replacement Decisions under Technological Change. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19. pp. 173-186.
- Soro, W. I. (2011). *Modélisation et optimisation des performances et de la maintenance des systèmes multi-états*. Ph. D. Thèse. Québec: Université Laval.
- Stone, C. J. (2001, été). Le projet de remplacement du véhicule de transport de troupes blindé: Un examen. *Revue Militaire Canadienne*, pp. 59-66.
- Sungjin, C., & Rust, J. (2008, Juin 21). Is econometrics useful for private policy making? A case study of replacement policy at an auto rental company. *Journal of Econometrics*(145), pp. 243-257.
- Tanguy, K. C., Gagné, C., & Dubois, M. (2001). *État de l'art en matière de véhicules électriques et sur la technologie V2G*. Rapport technique RT-LVSN-2011-01. Québec: Université Laval.
- Tecleab, S. (2002). *A decision support system on equipment replacement*. Thesis of Master of Science in Mechanical Engineering. Addis Ababa: Addis Ababa University.
- Transports Canada. (2012, Février 02). *Government of Canada*. Consulté le Avril 23, 2012, sur Site web Gouvernement of Canada Publications: [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2011/tc/T46-14-2005-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/tc/T46-14-2005-fra.pdf)
- Université Mantouri Constantine, UMC. (2010). *La gestion de la maintenance assistée par ordinateur (G.M.A.O)*. Consulté le Juin 2, 2012, sur Université Mantouri Constantine: <http://www.umc.edu.dz/vf/images/cours/maintenance-industrielle/chapitre%209.pdf>
- Waddell, R. (1983). A model for equipment replacement decisions and policies. *Interfaces*(13), pp. 1-7.
- Wafer, C. (1997). *Une approche intégrée pour l'exploitation et la gestion d'une flotte de véhicules*. Mémoire de maîtrise. Québec: Université Laval.

- Willoughby, K. A. (2010, Septembre 26). The disposal of excess Stock: A Classification of literature and Some Directions for Further Research. Saskatoon, Saskatchewan, Canada: Edward S.
- Wyrick, D. A., & Eseonu, C. I. (2008). *Integration of Automated Vehicle System Data Acquisition into Fleet Management*. Report No. CTS 08-05. Minneapolis: Minnesota Department of Transportation Research Services Section.
- Wyrick, D., & Erquicia, S. (2008). *Fleet Asset Life Cycle Costing with Intelligent Vehicles. Final Report*. CTS 08-13. Minneapolis: University of Minnesota- Duluth. Intelligent Transport Systems Institute.
- Zwingelstein, G. (2009, juin 10). *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes*. Consulté le Mai 30, 2012, sur site web Techniques de l'ingénieur: <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/communication-temps-reel-et-surete-de-fonctionnement-42397210/surete-de-fonctionnement-des-systemes-industriels-complexes-s8250/>