

L'ADOPTION DU LEAN DANS LES INSTALLATIONS DE MAINTENANCE AERONAUTIQUE

BRICE HAMON POURQUERY DE BOISSERIN¹, CHRISTIAN MASCLE².

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

C.P. 6079, SUCC. CENTRE VILLE

MONTREAL (QUEBEC) H3T 1J4

CANADA

¹brice.hamon-pourquery-de-boisserin@polymtl.ca

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

C.P. 6079, SUCC. CENTRE VILLE

MONTREAL (QUEBEC) H3T 1J4

CANADA

²christian.mascle@polymtl.ca

Résumé – L'industrie aéronautique comme toute industrie a besoin de maintenance pour assurer le bon fonctionnement des avions et la sécurité des passagers. Cependant depuis quelques années ce secteur d'activité comme d'autres secteurs a vu ses contraintes liées au coût augmenter dû à l'augmentation de la concurrence. Pour chercher à réduire ses coûts de maintenance, l'aéronautique commence à se tourner vers une utilisation du lean. Il existe beaucoup d'utilisation industrielles du lean cependant, on ne peut pas directement transférer les méthodes d'utilisation du lean des autres industries, car la maintenance est une industrie de service et non de fabrication. Cet article est un état de l'art de la littérature existant sur ce sujet. Il aboutira à neuf conclusions qui permettront de mieux comprendre les difficultés qui existent dans l'implantation du lean dans l'industrie de la maintenance aéronautique. Cependant au vue de la rareté de la littérature sur ce sujet de nombreuses expériences d'implantation du lean dans la maintenance aéronautique manquent pour permettre une corroboration de ces conclusions.

Abstrat – As any other industry, the aeronautic industry needs sustainment to ensure the airworthiness of planes and passenger safety. However this type of industry, as others, has seen its budget constraints raise for a few years because of the competitor increasing. To low the sustainment costs, the aeronautic industry starts heading to lean organization. Lean is used widely among all sorts of industries; however lean cannot be transferred from an industry to another because sustainment is a service industry and not a manufacture industry. This paper gives a state of the art of the existing literature dealing with this subject. It leads to nine conclusions that allow a better understanding of the difficulties that exist to implement lean in aeronautic sustainment industry. However, considering the very few literature available, there is a lack of lean implementation experience in aeronautic industry to support the conclusions.

Mots clés – Lean, MRO, État de l'art.

Keywords – Lean, MRO, State of the art.

1 INTRODUCTION

L'industrie de l'aéronautique est une industrie de pointe qui cherche toujours à améliorer ses produits, mais aussi la manière dont ils sont fabriqués et toute la gestion qui en suit. Plus précisément, l'industrie de l'aéronautique cherche à améliorer ses produits pour que les avions restent le moins longtemps au sol, car un avion cloué au sol est synonyme de perte d'argent pour une compagnie aérienne. C'est pour cela qu'aujourd'hui l'aéronautique se tourne vers une meilleure gestion de la maintenance des avions. En effet, un avion, comme tout mécanisme, a besoin de maintenance comme par exemple un contrôle technique pour s'assurer du bon état de l'avion. Il y a aussi dans la maintenance le remplacement de pièces mécaniques

usées. Qui dit remplacement de pièces, dit stock de pièces et donc gestion de stock. C'est pour cela que l'industrie aéronautique se tourne vers la gestion de la maintenance en utilisant le modèle lean. L'utilisation du modèle lean doit permettre une meilleure gestion de la maintenance, mais pour cela il faut adapter et implanter ce modèle dans l'industrie aéronautique.

Cet article est la première partie d'un projet sur l'implantation du lean dans la maintenance aéronautique. Il s'agit d'un état de l'art de la littérature scientifique et de son analyse. Dans un premier temps, cet article présentera la maintenance aéronautique, puis la problématique de recherche. Par la suite, une partie de l'article sera consacré aux résultats trouvés dans la littérature, d'une analyse et d'une discussion de ces résultats, avant de conclure.

2 LA MAINTENANCE DANS L'INDUSTRIE AERONAUTIQUE

Dans l'industrie aéronautique comme dans toutes les industries, il existe un secteur maintenance. Cette section est appelée *Maintenance, Repair and Overhaul* que l'on appellera MRO par la suite dans cet article.

Pour être capable d'appliquer le lean au MRO, il faut dans un premier temps comprendre le fonctionnement du MRO dans l'industrie aéronautique. Pour cela, il faut se poser quatre questions:

- Comment s'organise le MRO ?
- Quelles sont les caractéristiques et fonctions du MRO ?
- Y a-t-il des classifications ou groupes dans le MRO ?
- Quels sont les défis du MRO ?

La réponse à ces questions permettra de bien comprendre le fonctionnement du MRO.

2.1 Illustration des organisations de MRO

Chaque avion est contrôlé de manière périodique selon son utilisation. Il existe plusieurs catégories de contrôle : les contrôles légers et les contrôles et les entretiens lourds. Ces contrôles et entretiens sont obligatoires pour assurer la sécurité de l'avion et donc des passagers. Les activités du MRO sont principalement l'entretien, la réparation, la modification, la révision, l'inspection, et la détermination de l'état de l'avion. Un exemple d'une organisation de MRO est Hawker Pacific Aerospace (HPA). Avec deux installations (au Royaume-Uni et États-Unis), HPA se spécialise dans la réparation et la révision de trains d'atterrissage (avions et hélicoptères), des composants hydromécaniques, roues, freins et systèmes de freinage, rails de volets, des commandes de vol, des lecteurs à vitesse constante, et même la distribution et la vente de pièces de rechange nouvelles ou révisées pour l'aérospatiale.

2.2 Les différents secteurs du MRO

Il existe différentes manières de classer les activités du MRO. Cet article classera ces différentes activités en fonction de leur nature ou du type d'activités réalisées. Il existe également l'*Original Equipment Manufacturer* (OEM) qui offre des services de MRO qui sera développé par la suite.

2.2.1 Classification basée sur le type de fonction

Il existe plusieurs types de fonctions dans la MRO :

- entretien et modifications majeures : cela implique généralement le démontage des composants majeurs de l'avion pour l'inspection et les réparations détaillées.
- réajustement et conversion : ce secteur est responsable de des conceptions majeure et mineure du remplacement de composant ancien ou obsolète et de la conversion des avions de passagers à cargo.
- la révision des moteurs : cela va de l'entretien de routine à la réparation complète des moteurs. C'est potentiellement le plus grand secteur au sein de cette industrie.
- révision des composants : cela implique généralement la révision de toutes les autres parties non classées sous la catégorie des gros entretiens. Celles-ci vont du train d'atterrissage aux révisions du fuselage.
- révision: cette fonction comprend l'entretien de routine de l'aéronef. Cette catégorie est responsable de

l'inspection fréquente de l'avion pour assurer sa sécurité lors de son utilisation. Cette catégorie du MRO peut également effectuer des réparations mineures grâce aux publications des OEM [Flight Standards Service, Inspection fundamentals, 2008].

- avionique : cette catégorie est spécialisée dans la révision de l'avionique. L'avionique est l'ensemble des équipements électroniques, électriques et informatiques qui aident au pilotage. Cette catégorie peut être à la fois militaire et commerciale et a pour but d'augmenter l'efficacité globale de l'aéronef.

Le tableau n°1 présente certaines entreprises réalisant certains blocs de MRO.

Tableau 1.Exemple d'entreprises agissant dans les secteurs de MRO

Secteur	Exemples
Entretien et modifications majeures	AAR Corporation (siège social, Illinois, États-Unis); SR Technics (siège social, Zurich, Suisse); ST Aerospace (siège social, Singapore); GE (siège social, États-Unis);
Réajustement et conversion	Aeronautical Engineers (États-Unis); Airbus (Dresden, Allemagne); Haeco (Hong Kong, Chine);
La révision des moteurs	Lufthansa Technique (Hamburg, Allemagne); Rolls Royce (siège social, Royaume-Uni);
Révision des composants	APPH (Royaume-Uni); Hawker Pacific Aerospace (Royaume-Uni et États-Unis); Ameco (République populaire de Chine);
Révision	Scandinavian Aircraft Maintenance (Norvège);
Avionique	Honeywell (Global); Selex Galileo Global (Italie et Royaume-Uni);

Bien que toutes les fonctions décrites appartiennent à différentes catégories de MRO, il y a d'énormes similitudes dans la manière dont ces services et opérations sont mis en œuvre. Cependant, il est indispensable de bien comprendre les différentes catégories de MRO, ce qui facilitera l'adaptation du lean au sein de l'industrie de MRO.

2.2.2 Intégration du MRO

Il est aussi possible d'utiliser la structure organisationnelle comme critères de classification. En effet, la MRO peut être regroupée en deux blocs [Al-Kaabi et al., 2007] [Cohen, 2006] [Michaels, 2007]:

- Indépendant
- Intégré à la compagnie aérienne

La MRO a évolué au fil des ans depuis que la majorité des activités de MRO ont été effectuées par des compagnies aériennes. Dans certains cas, l'OEM a donné son accord permettant aux compagnies d'effectuer des opérations de maintenance sur des composants tout en restant sous garantie. Les pièces et main-d'œuvre de la réparation sont ensuite facturées à l'OEM [Lorell et al., 2000]. Cependant, suite à la déréglementation du transport aérien aux États-Unis en 1978, de nombreuses compagnies aériennes se sont créées [Almeida, 2005]. Ces petites compagnies ne disposent pas d'installations de MRO ou de pièces détachées pour leur flotte. La croissance de ces nouvelles compagnies à bas coût a encouragé l'entrée de fournisseurs de MRO indépendants qui offrent à coût relativement faible des services allant de la

maintenance au contrôle des stocks. Dans un effort de réduction des coûts, plusieurs des compagnies aériennes établies avant 1978, telles que British Airways et American Airlines, ont commencé à sous-traiter une partie de leurs activités de MRO à des organisations indépendantes. Cela a permis aux compagnies de concentrer leurs ressources et leurs capacités aux compétences essentielles qui créent de la valeur et de sous-traiter les activités sans valeur ajoutée [Al-Kaabi et al., 2007].

Mettre en place un processus de MRO aéronautique est un très gros investissement. C'est pour cela que les compagnies aériennes à bas prix évitent d'investir dans de grandes stations de maintenance. À la place, elles ont choisi de sous-traiter la plupart des opérations de MRO (en particulier la maintenance lourde) à des fournisseurs indépendants. En revanche, les grosses compagnies aériennes conservent la gestion des opérations de MRO [Cohen, 2006] [Michaels, 2007] [Almeida, 2005] [Heikkila et Cordon, 2002]. L'avantage de ce choix est que les grosses compagnies peuvent compenser la variation des volumes de passagers en offrant des services MRO à d'autres compagnies aériennes [Kilpi et Vepsäläinen, 2004].

Un exemple d'organisation indépendante de MRO est AAR Corporation. AAR est le deuxième plus grand fournisseur indépendant de services de MRO en Amérique du Nord. Ses activités vont de la maintenance générale de l'aéronef au soutien du moteur en passant par l'ingénierie ainsi que la logistique et la fabrication de précision. AAR fournit des services autonomes et offre des solutions sur mesure par des combinaisons uniques de divers produits et services. Inversement, Lufthansa a au fil des ans stimulé sa section entretien (Lufthansa Technik, [Hawker Pacific Aerospace, 2007–2010]) et a vu une augmentation constante de ses capacités de MRO. De la même façon, l'alliance Air France Industries et KLM Engineering & Maintenance ont également connu une énorme croissance en ce qui concerne les capacités de MRO ce qui leur a permis de garder la MRO en interne.

2.2.3 Le model « servitized »

Aujourd'hui, il y a une tendance croissante des OEM à adopter des modèles d'affaires « servitized ». Ce modèle offre une gamme de forfaits de soutien directement au client. « Servitization » est traditionnellement décrite comme la vente par le fabricant du produit seul avec quelques services essentiels à l'utilisation. Les différents services de base offerts par les fabricants créent une stratégie concurrentielle entre eux. Cela donne plus de valeur au produit et une augmentation de l'interaction avec le client [Baines et al., 2007]. Les constructeurs offrent des forfaits qui se prolongent au-delà de la garantie des produits achetés pour inclure une gamme complète de services comme la maintenance, l'entretien et les pièces de rechange sur une période de temps fixe [Wise et Baumgartner, 1999]. Ces programmes de soutien vont de programmes de gestion d'actifs intégrés au support client [Michaels, 2007]. Par exemple, Rolls Royce offre le service « TotalCare » [Rolls-Royce, 2004] et Boeing « GoldCare » [Boeing, 2006]. Les constructeurs commencent à représenter une part importante dans le budget de MRO des compagnies aériennes et apportent une nouvelle façon de gérer la maintenance dans l'industrie aéronautique. Grâce à ce soutien, plus d'intérêt est donné à la façon dont le service de maintenance est effectué, mais aussi pour ce qui est effectué dans cette opération.

Bien que le « servitized » est un concept émergent dans l'industrie aéronautique, il est plus courant de le voir dans la communauté de fabrication de l'aviation (OEM) que dans l'organisation

traditionnelle de MRO. Cependant, la tendance générale pousse les organisations de MRO à posséder des actifs qui sont utilisés pour soutenir les compagnies aériennes, pendant que leur produit est en révision. Cela veut donc dire que le MRO dépasse la maintenance à proprement parler pour créer une interaction avec le client. Les équipementiers doivent donc restructurer leurs capacités et leurs besoins de MRO pour tendre vers une activité commerciale qui est légèrement différente de l'organisation traditionnelle du MRO. Ceci en étendant donc la portée de l'application du lean au sein de l'industrie de l'aviation. Cependant, cet article se concentre uniquement sur l'adoption du lean dans les installations de MRO.

2.3 Les défis du MRO

Les difficultés rencontrées par l'industrie du MRO n'ont fait qu'évoluer au cours des ans. Le premier défi du MRO était uniquement un « objectif de production ». Ces objectifs ont été conduits principalement par la concentration des compétences de base. Almeida [Almeida, 2005] a montré comment les organisations de MRO aéronautique avaient tendance à être « la plus compétitive » dans les premières années de la fabrication du produit en raison de leur inventaire et de la présence géographique, ce qui leur a donné la capacité de servir les clients 24 heures sur 24.

Le défi global pour l'industrie du MRO est maintenant très différent. Les forces du marché en constante évolution exigent que, en dehors des objectifs de production initiaux, les organisations de MRO augmentent la marge entre le stock et la valeur du produit en tenant compte de toutes les ressources possibles afin de maximiser son efficacité [Stall, 2005]. Cela signifie que l'industrie de MRO en l'aéronautique doit gérer efficacement la façon dont elle minimise les coûts de maintenance et établir un retour d'expérience sous la forme de normes précises. Les organisations de MRO doivent aussi gérer des installations de maintenance qui varient énormément en fonction du type d'avion. Maximiser la capacité des installations et assurer la conformité avec le programme de maintenance du client est un autre problème majeur au sein de l'industrie de MRO de l'aviation [Mathaisel, 2005].

Il existe par conséquent de nombreuses initiatives visant à améliorer la productivité de l'entreprise. L'augmentation de la productivité est un appel universel de tous les fabricants qui font face à une concurrence mondiale de plus en plus intense [Lewis, 2000]. Une étude détaillée du lean conduit Womack et al. [Womack et al., 1990] à soutenir que les principes du lean sont applicables à toute l'industrie. Une proposition qui a été soutenue par Haque [Haque, 2003].

L'argument en faveur de l'adoption du lean est généralement pris en compte par la tenue de la performance commerciale remarquable de Toyota. Il est important de souligner que le succès et la découverte de principes lean au sein de l'industrie automobile japonaise sont apparus pendant un climat économique sévère [Lewis, 2000] similaire à la crise économique de 2008-2009. À la fin de 2003, Toyota a publié un bénéfice de 8,33 milliards de dollars. Ce fut plus important que les bénéfices combinés de General Motors, Chrysler et Ford. Toyota est considéré comme l'un des trois meilleurs vendeurs de voitures aux États-Unis [Liker, 2004]. Selon les chiffres de l'entreprise, Toyota a vendu en 2007 2,35 millions d'unités aux États-Unis (plus grand marché automobile du monde) et General Motors en a vendu 2,26 millions.

Contrairement à la perception populaire, de nombreuses caractéristiques des techniques lean ont d'abord été enregistrées dans les usines de production de Ford dans les années 1920 comme documentées par Henry Ford lui-même dans ses livres "My life and work" [Ford, 1922] et "Today and tomorrow" [Ford, 1926]. Ford a démontré la nécessité de se concentrer dans les activités sur la réduction du gaspillage de temps et de matériel. Toutefois, le terme «Lean» lui-même a été popularisé par Womack et Jones [Womack et Jones, 1996] après un examen minutieux de l'opération de production de Toyota. Cette étude a été commanditée par le "International Motor Vehicle Program" dans le cadre d'une étude comparative de la fabrication automobile dans le monde. En 1990, Womack et al. [Womack et al., 1990] publient le livre "The machine that changed the world". Ce livre a aidé à démystifier les techniques manufacturières japonaises initialement nommées "Toyota Production System" montrant leur supériorité en fabrication.

Il est cependant important de souligner que les pensées de références modernes sur le lean varient en fonction de la teneur et de la perspective des industries [Hines et al., 2004]. La disparité varie entre les industries japonaises qui ont tendance à se concentrer sur la «philosophie» lean et la «culture» par rapport à leurs homologues occidentaux qui ont tendance à mettre davantage l'accent sur les «outils et techniques» du lean. La disparité dans les perspectives du lean dans ces deux divisions ont conduit à des discussions à propos de ce qui est le plus précis.

Baines et al. [Baines et al., 2006] suggèrent que l'approche philosophique est «multidimensionnelle» dans le sens où elle implique toute l'organisation dans toutes les fonctions et englobe une grande variété de pratiques de gestion. Cela comprend le juste à temps (just in time), les systèmes de qualité, les équipes de travail, la fabrication cellulaire (postes de travail et machines regroupés en petits noyaux ou cellules), la gestion des fournisseurs, etc. Selon cette définition, ils ont conclu qu'il n'y a pas de coïncidence entre les entreprises japonaises qui abordent la mise en œuvre du lean avec le plus grand succès et leurs homologues occidentaux. Curieusement, la plupart des fabricants occidentaux concentrent leurs initiatives lean sur les opérations avec quelques tentatives d'adopter le lean comme culture. Quels que soient la perspective ou les postes de travail, le lean doit exister à tous les niveaux à la fois de manière pratique et théorique [Pettersen, 2009]. Le but du lean est, cependant, de réduire toutes les formes de gaspillages («muda») identifiés par Ohno [Ohno, 1988] afin d'améliorer la productivité et d'améliorer la valeur globale de la clientèle. Cet article sera donc prudent dans la distinction entre les deux-points de vue de la pensée lean et les principes du lean dans les zones où leur compréhension est cruciale. Cependant, dans les zones où leur compréhension n'est pas cruciale et reflète l'usage populaire, ce document fera référence à ces deux points de vue simplement comme «Lean».

L'approbation et le succès du lean dans l'industrie automobile ont encouragé d'autres secteurs industriels à s'intéresser à l'immense avantage que présente cette philosophie [Melton, 2005]. Dans l'industrie de l'aviation, par exemple, certaines entreprises de MRO ont été en mesure de réduire les délais d'exécution de façon spectaculaire par des outils qui se rapportent au principe du lean. Les facteurs les plus importants dans la sélection MRO d'une compagnie aérienne ou chez un fournisseur de MRO sont généralement dans l'ordre : la qualité, le temps d'attente pour qu'un avion soit remis en service (TAT : turn around times), et le prix. Cependant, des circonstances particulières peuvent modifier

les priorités des clients, ce qui signifie des changements de priorité de l'entreprise. Par exemple, une compagnie aérienne pourrait avoir une situation où il y a temporairement plus d'avions que nécessaires pour fournir la demande, donnant ainsi au TAT une priorité inférieure. Cependant, pour une flotte qui est dimensionnée correctement pour son réseau, un court TAT est la clé pour réduire les coûts totaux de maintenance. Les progrès dans la réduction du TAT devraient révéler un fort avantage concurrentiel [Canaday, 2009].

À l'inverse, dans un environnement où les normes de qualité et de sécurité sont étroitement réglementées, il y a le souci de savoir si tous les principes de la philosophie lean sont viables dans ce contexte. L'objectif principal de l'industrie du MRO est de restaurer l'avion dans un état où il peut effectuer en toute sécurité ses fonctions. Ce processus peut être renommé «remise en état» et donc on suppose que tous les principes du lean peuvent être mis en œuvre dans ce contexte. Cependant, il n'y a pas de preuve suffisante dans la littérature actuelle pour confirmer cette hypothèse. Par conséquent, l'étude décrite dans cet article est orientée sur l'adoption de principes lean et de sa philosophie au sein de l'industrie de l'aviation, en particulier dans le secteur de la MRO.

3 PROGRAMME DE RECHERCHE

3.1 Objectif et problématique

L'objectif de la recherche présentée dans cet article est d'identifier et d'examiner la littérature disponible sur le sujet du lean dans l'industrie du MRO de l'aviation afin d'établir l'état de l'art de ce domaine. Toutefois, l'adoption et l'application du lean au sein du secteur MRO demandent encore des années de formation. La portée de cette étude a été élargie à l'application du lean au sein de la «maintenance» et de «l'environnement basés sur les services». Les questions de recherche qui ont servi de cadre à cette étude étaient les suivantes.

- Comment est interprété le lean au sein des MRO de l'industrie aéronautique?
- Dans quelle mesure a été adopté le lean dans le secteur de l'aviation?
- Quelles stratégies ont été employées dans l'adoption et le maintien du lean?
- Quels sont les éléments qui facilitent ou ralentissent l'adoption du lean?
- Quelles sont les forces et les faiblesses de la littérature existante?

Les questions ci-dessus peuvent ne pas entraîner de conclusion si la littérature n'est pas suffisante. Elles serviront cependant de guide à cette étude.

3.2 Analyse

Sur l'ensemble des publications trouvées, le tableau n°4 montre un échantillon des articles qui ont été retenus pour un examen plus approfondi. Le premier critère utilisé dans la sélection de ces articles est basé sur leur pertinence au lean (les outils, les techniques et la philosophie) pour établir une compréhension conceptuelle de l'objet. Un exemple d'article est « Learning to evolve; a review of contemporary Lean thinking » par Hines et al. [Hines et al., 2004]. Le deuxième critère utilisé est la pertinence de l'article sur le MRO dans l'aéronautique. Cela a réduit le nombre d'articles pertinents, à celui de Mathaisel [Mathaisel,

2005] intitulé «A lean architecture for transforming the aerospace maintenance, repair and overhaul (MRO) enterprise».

L'examen de ces documents est réalisé vis-à-vis des questions de recherche. Un aperçu des principaux thèmes abordés pour chaque

publication est ensuite compilé. Un examen critique de toutes les publications est ensuite effectué afin de capturer et de représenter la cohérence et la variance des articles dans la littérature. Les articles principaux sont présentés dans le tableau n°2.

Tableau 2. Article pertinent

Auteurs	Titre du livre ou article	Lieux de publication
Baines et al. (2007)	« State-of-the-art in Lean design engineering: a literature review on white collar lean »	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture
Haque (2003)	« Lean engineering in the aerospace industry »	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture
Andrew et al. (2008)	« Self-maintenance works for repair firm »	Engineering and Technology Magazine
Al-Kaabi et al. (2007)	« An outsourcing decision model for airlines MRO activities »	Journal of Quality in Maintenance Engineering
Mathaisel (2005)	« A Lean architecture for transforming the aerospace maintenance repair and overhaul enterprise »	International Journal of Operations & Production Management
James-Moore et Gibbons (1997)	« Is Lean manufacturing universally relevant? An investigative methodology' »	International Journal of Operations & Production Management
Alejandro et Serebrisky (2006)	« Competition regimes and air transport costs: the effects of open skies agreements »	Journal of International Economics
George et George (2003)	Lean Six Sigma for service: how to use Lean speed and six sigma quality to improve services and transactions	McGraw-Hill Professional, New York

4 RESULTATS

Les analyses de la revue de littérature réalisée fournissent la base des conclusions [Aveni et al., 2011].

4.1 L'interprétation du lean

L'application des principes du lean ne permettrait pas d'atteindre les objectifs d'organisation, à savoir, d'améliorer les performances économiques de l'entreprise et d'optimiser le retour sur l'investissement [George et George, 2003]. Cet argument est fondé sur l'opinion que les principes du lean seuls ne peuvent pas définir de manière adéquate les processus d'une entreprise sous contrôle statistique [George et George, 2003]. Avec cette perception du lean, il n'est pas surprenant que de nombreuses entreprises de MRO mettent en œuvre les principes du lean en combinaison avec d'autres stratégies d'affaires dans le but d'atteindre les objectifs d'ensemble de l'entreprise. Un exemple d'une telle combinaison est l'approche « Lean » et « Agile ». L'intégration de ces deux stratégies, comme décrit par Andrew et al. [Andrew et al., 2008] est basée sur l'avantage que les processus agiles, lorsqu'ils sont introduits dans l'organisation, aideraient à faire face aux problèmes d'inconstance sur le marché. Cela rend les prévisions difficiles avec une demande irrégulière qui est caractéristique de l'industrie MRO. Andrew et al. [Andrew et al., 2008] expliquent en outre que les nombreuses personnes qui ont tenté d'intégrer les deux approches ont utilisé le terme « leagility » ou approche « agilean ». Cette approche intégrée a été développée pour créer un système lean opérationnel.

Plus récemment, Six Sigma a été considéré comme un système efficace capable de réaliser des gains importants dans les performances des entreprises. Le point fort de cette méthode est l'importance de la qualité et la capacité d'apporter à un processus un outil plus adéquat qu'une simple analyse statistique. Cependant, beaucoup considèrent Six Sigma comme une stratégie d'affaires tandis que d'autres se réfèrent à elle comme une méthodologie bien structurée et très efficace qui permet d'obtenir

des améliorations de produits et de processus, qui à leur tour améliorent la performance opérationnelle [Bossert, 2003]. Des entreprises telles que Motorola et General Electric ont mis en œuvre cette approche (les principes lean et Six Sigma) avec un grand succès et ont fondé leur amélioration des processus d'affaires autour du concept Six Sigma et à bon escient. Smith et Hawkins [Smith et Hawkins, 2004] ont expliqué que le lean amène de l'action et de l'intuition comme les systèmes d'amélioration continue Kaizen tandis que Six Sigma utilise des outils statistiques pour découvrir les causes profondes et fournir des outils de mesures. Ils concluent que la combinaison des deux offres permet de créer une amélioration des affaires en cours.

L'émergence et la popularité de ces versions hybrides Lean au sein de l'industrie de l'aviation ont conduit à la conclusion suivante.

Conclusion n°1

Le lean est largement interprété comme un outil viable dans l'industrie de l'aviation. Cependant l'ajout d'autres outils permet la réalisation complète de tous les objectifs fixés par l'organisation.

4.2 L'objectif de lean

Mecham [Mecham, 2006] a souligné que les principes du lean ont beaucoup de succès dans le monde de la fabrication qui est semblable à l'industrie de l'entretien. Cependant, il reste sceptique quant à sa mise au point. En effet l'un est un environnement de fabrication et l'autre est un environnement de service. Il n'est donc pas facile de transférer directement l'approche lean.

L'introduction du lean dans l'industrie de MRO de l'aviation a mené au terme *lean maintenance* [Smith et Hawkins, 2004] [Liu et al., 2008]. Selon Liu et al. [Liu et al., 2008] il existe deux interprétations du *lean maintenance* : soit une amélioration des temps de fonctionnement et de la fiabilité ou une réduction des coûts. La mise au point des outils lean porte sur une réduction des gaspillages [Smith et Hawkins, 2004] ou sur une création de

valeurs, mais cette dernière est peu répandue dans cette industrie [Wouter et al., 2009]. Quelle que soit l'expression, l'accent sous-jacent pour l'application du lean dans le MRO est actuellement essentiellement la réduction des gaspillages [Smith et Hawkins, 2004].

Andrew et al. [Andrew et al., 2008] suggèrent que les constructeurs aéronautique doivent se concentrer sur la mise en place de création de valeurs tandis que l'industrie du MRO doit se concentrer sur la réduction des gaspillages. Ceci serait très bénéfique au MRO qui depuis les dernières années a vu une augmentation des contraintes vis-à-vis de ses coûts.

Conclusion n°2

L'objectif du lean au sein de l'industrie du MRO en aéronautique est principalement orienté vers la réduction des gaspillages par opposition à la création ou l'amélioration de la valeur.

4.3 L'étendue de l'adoption du lean

Comme le dit Haque [Haque, 2003], l'industrie aérospatiale fut d'abord réticente à l'égard de l'adoption du lean bien qu'il soit entièrement viable au sein de cette industrie. Le lean gagne en popularité au sein de l'industrie aérospatiale, il sera peut-être mis en œuvre dans les petites et grandes entreprises. Cependant, il y a encore un manque de méthodologie durable ainsi qu'une bonne application des outils de soutien et de gestion. Cela peut être attribué au fait que le lean n'a que récemment été vu par l'industrie aérospatiale comme un outil viable permettant d'améliorer les performances globales de l'entreprise [Mathaisel, 2005]. Il y a donc une rareté de la littérature sur le sujet du lean dans l'industrie du MRO ce qui est une preuve de la réticence initiale de l'industrie à son adoption par rapport aux autres secteurs industriels.

Bien que les entreprises de MRO soient vulnérables aux fluctuations mondiales et locales du marché, la nature spécialisée de l'industrie exige que sa structure interne soit définie et conventionnelle à ce qui est favorable à l'adoption du lean. Cependant, malgré les progrès significatifs qui ont été réalisés dans l'adoption du lean, la mesure de son adoption et sa maturité à travers toute l'industrie de MRO ne peuvent pas être établies. La littérature dit que de nombreuses entreprises se sont lancées dans l'adoption du lean depuis la fin des années 1990. Toutefois, la propagation de son application est nettement plus faible que dans d'autres secteurs comme notamment l'industrie automobile [Wouter et al., 2009] [Warwick, 2007] [Crute et al., 2003]. Cela a conduit à la conclusion suivante :

Conclusion n°3

Il y a un fort accent sur l'adoption du lean dans l'industrie du MRO, bien que l'ampleur de son adoption soit difficile à déterminer

4.4 Stratégie pour la mise en œuvre et l'adoption du lean

Pettersen [Pettersen, 2009], après avoir confirmé la validité du succès du lean, souligne que l'objectif global d'une organisation de MRO sera responsable de la manière dont le concept est abordé. Bien qu'il ait identifié deux types de buts différents, à savoir les objectifs axés internes [Liker, 2004] [Feld, 2001] et les objectifs axés externes [Womack et Jones, 2003] [Bicheno, 2004], il a également souligné que la formulation des objectifs sont essentiels dans la mise en œuvre du lean. L'absence d'une définition et d'objectifs de formulation précise conduira à des difficultés [Parker, 2003].

La revue de la littérature a révélé que différentes approches sont adoptées dans les programmes de mise en œuvre du lean au sein de l'industrie de MRO de l'aviation, ce qui corrobore les résultats de Pettersen [Pettersen, 2009]. Par exemple, Lufthansa Technik dans son travail de mise en œuvre a adopté une stratégie similaire à l'approche «kaizen blitz» [Tapping et al., 2002] qui a enregistré un grand succès dans ses années de formation. L'approche «kaizen blitz» permet d'interpréter en interne le concept du lean et de développer une approche en trois phases de mise en œuvre :

- systèmes techniques : outils et techniques du lean
- infrastructure de gestion : mesures de suivi et d'amélioration continue
- attitudes et capacités : alignement de la culture et de la mentalité de travailler avec la philosophie lean [Hawker Pacific Aerospace, 2007–2010].

Mathaisel [Mathaisel, 2005] propose une autre approche à l'application du lean au sein du MRO. Après un examen attentif des différentes approches, y compris l'approche de conception-construction proposée par Pearce et Bennet [Pearce et Bennet, 2003], et l'approche kaizen blitz proposé par Laraia et al. [Laraia et al., 1999], Mathaisel propose un programme de mise en œuvre de l'architecture de l'entreprise pour l'adoption du lean. Il l'a décrit comme une : séquence structurée d'activités pour la transformation de l'entreprise MRO d'un état actuel à un état futur lean. Il souhaite utiliser un système progressif basé sur un cycle de vie de la transformation.

Inversement, FedEx adopte une stratégie différente de la mise en œuvre par la refonte complète de ses installations dans l'aéroport de Los Angeles afin de faire face au défi de la réduction des coûts et de la nécessité d'accroître ses recettes. La mise au point à l'usine était d'utiliser les principes lean pour augmenter sa capacité en utilisant les mêmes équipements et personnel [Bartholomew, 2009].

Dans de nombreux contextes, le succès du lean est souvent considéré par l'existence d'une culture de kaizen. Toutefois, ce point a été discrédité par Roper [Roper, 2005] sur l'hypothèse qu'il n'y a pas de feuille de route pour parvenir à cette culture de kaizen et, sans contrôle adéquat, la plupart des organisations seraient à court de temps et de patience avant de trouver le chemin.

Ces organisations ont enregistré des progrès et les bénéfiques peuvent être liés à leurs programmes de mise en œuvre lean. Néanmoins, tous utilisent leurs propres dispositifs sur l'application du lean. Ceci est dû aux nombreuses stratégies de mise en œuvre qui suggèrent différents objectifs et facteurs modérateurs pour assurer la mise en œuvre et la réussite de l'adoption du lean au sein des organisations MRO. Cela a conduit les auteurs à la conclusion suivante.

Conclusion n°4

Diverses stratégies de mise en œuvre ont été utilisées dans l'adoption du lean. Cependant, les facteurs de modération permettant la réussite de sa mise en œuvre restent flous.

4.5 Les inhibiteurs du lean

Il ne fait aucun doute que l'ensemble de l'industrie aérospatiale est maintenant en train de sonder les avantages et les possibilités que propose l'adoption du lean comme l'élimination des gaspillages au sein de ses opérations. La révolution lean est en cours au sein de l'industrie [Crute et al., 2003]. Cependant, il y a certains facteurs contextuels qui ont entravé l'application et l'avancement de l'application du lean au sein de l'industrie de l'aviation. Avec

très peu d'informations publiées sur les défis du lean dans l'industrie du MRO, les inhibiteurs clés suivants ont été identifiés à partir de la revue de littérature.

4.5.1 Compréhension globale du lean

Crute et al. [Crute et al., 2003] suggèrent que le manque de compréhension globale de l'interprétation du lean a servi d'inhibiteur à l'adoption rapide de celui-ci au sein de l'industrie de l'aviation. Ils suggèrent que les fausses idées antérieures qui ont ralenti le transfert du lean de l'industrie automobile à l'industrie de l'aviation ont été le défi de l'adaptation du lean d'une industrie de capacité à volume élevé (automobile) à une industrie de faible capacité aéronautique. Cependant, Womack et Jones [Womack et Jones, 1996] ont fourni un compte rendu détaillé de l'introduction au principe du lean au sein de Pratt & Whitney, validant ainsi le secteur aérospatial comme un environnement approprié à l'application et au succès du lean. Ils ont également suggéré que l'industrie aérospatiale peut avoir un avantage sur l'industrie automobile dans l'application des principes du lean, car la capacité de volume inférieur permet une association plus étroite avec l'idéal du lean qui est lié à l'écoulement d'une seule pièce.

Une autre fausse idée majeure du lean, qui inhibe son application et son avancement, est la confusion qui résulte des différentes capacités du lean entre les pays ou au sein même d'une entreprise. Les différentes interprétations du lean conduisent Crute et al. [Crute et al., 2003] à une recherche d'études de cas et aboutissent à la conclusion que les capacités du lean sont complexes. L'incertitude entourant l'interprétation et la compréhension du lean a contribué à la réticence à son adoption et/ou à la réussite de nombreux programmes de mise en œuvre du lean au sein de l'industrie de l'aviation. Pettersen [Pettersen, 2009] a également conclu que les capacités du lean doivent être pleinement comprises et appréciées avant toute mise en œuvre.

L'implantation du lean exige des changements dans les attitudes et le comportement non seulement des gestionnaires, mais aussi des salariés [Bamber et Dale, 2000]. Alors que le secteur de l'aérospatiale peut avoir certains avantages dans la mise en œuvre du lean, les défis de la mise en œuvre sont réels et se révèlent difficiles pour de nombreuses entreprises. Karlsson et Ahlstrom [Karlsson et Ahlstrom, 1996] ont suggéré que les moyens traditionnels de pensée et les pratiques sont difficiles à mettre en place. De plus, le changement radical serait difficile et nécessite une immense quantité d'efforts à surmonter. L'introduction du lean dans une organisation se traduit dans la plupart des cas par un changement dans la culture de travail. Les employés eux-mêmes cherchent les problèmes potentiels tels que: l'élimination des gaspillages, la responsabilité de l'amélioration continue, la qualité et l'entretien. Bamber et Dale [Bamber et Dale, 2000] ont suggéré que l'absence d'une compréhension concise du lean par tous les employés est un obstacle à l'avancée du lean dans les organisations. Cet obstacle crée une réticence des autres organisations à adopter la philosophie lean. Par conséquent, il est important pour les chercheurs et les praticiens de développer une compréhension globale du lean afin de démystifier les mythes qui l'entourent et qui empêchent son adoption et sa mise en œuvre [Farris II et al., 2005].

Conclusion n°5 A

Le manque de compréhension globale du lean et de ses capacités est évidente au sein de l'industrie aérospatiale et entrave ainsi la réussite de son implantation.

4.5.2 Prévisions inexactes et incertitude dans les opérations

Il est également fréquent que certaines des technologies en avionique soient désuètes beaucoup plus tôt que prévu. Soit parce que les fournisseurs cessent la production en raison de la compression des marchés ou dans le but de poursuivre des études supérieures à la demande pour créer une opportunité commerciale plus rentable [Meadows, 1997]. La même logique vaut également pour la question des pièces difficiles à trouver [Farris II et al., 2005]. En raison de la difficulté de prédire avec exactitude les scénarios, des décisions doivent être prises par les organisations de MRO concernant le surplus ou non de certains des composants tout au long du cycle de vie du produit [Silverman, 2000]. Le surplus de stock détenu par de nombreuses entreprises de MRO est une contradiction des idéaux du lean comme le dit Ohno [Ohno, 1988].

En outre, les taux élevés de main-d'œuvre forcent la majorité des organisations de MRO établie en Europe ou en Amérique du Nord à se déplacer vers les pays à bas salaires, en particulier l'Asie, l'Europe de l'Est et l'Amérique centrale dans le but de réduire les coûts. La chaîne de processus des organisations de MRO devient plus compliquée [Michaels, 2007]. Pour minimiser les problèmes des chaînes d'approvisionnement complexes, la majorité des organisations de MRO ont tendance à garder des niveaux excessifs d'inventaire.

Cependant, dans d'autres cas où il n'y a pas de surplus de stocks, la variabilité des travaux de réparation rend impossible de prévoir avec précision la tenue des stocks sauf si une inspection complète est accomplie. De plus s'il manque une pièce, celle-ci devra être commandée en accéléré [Cohen, 2006]. Le danger de ces incertitudes se traduit par des retards qui peuvent perturber le calendrier initial et la livraison finale des articles révisés. Afin de surmonter ces défis, il n'est pas rare que les organisations de MRO détiennent plus d'inventaires que nécessaire ce qui contredit encore une fois les idéaux du lean.

Conclusion n°5 B

La difficulté de prévisions est généralement caractéristique de l'industrie aérospatiale de MRO. Les résultats en pratique contredisent les idéaux du lean, servant ainsi d'inhibiteur à son adoption et à son avancement.

4.6 Motivation pour l'adoption du lean

Bien qu'il y ait des divergences sur l'interprétation du lean au sein de l'industrie de l'aviation, Womack et Jones [Womack et Jones, 1996] ont pu établir que le lean est viable et approprié pour cette industrie. Les facteurs de motivation pour l'adoption du lean au sein de cette industrie ont changé au fil des ans pour permettre son adéquation et la réussite de sa mise en œuvre au sein de cette industrie. Cependant, ces facteurs sont cachés par l'augmentation des pressions commerciales qui découle de la mondialisation.

Il est obligatoire pour l'industrie de MRO d'améliorer ses performances opérationnelles [Mcauliffe, 2007]. En effet l'augmentation de la mondialisation demande clairement une refonte complète de certaines entreprises pour qu'elles puissent s'organiser et se reconfigurer [Crute et al., 2003]. Ces pressions commerciales forcent les organisations de MRO à réduire les délais d'exécution pour être en mesure de rivaliser sur le marché mondial. De plus, elles doivent aussi améliorer les disponibilités d'actifs pour la clientèle. Les organisations de MRO sont donc à la recherche de solutions pour améliorer les performances de façon à renforcer leur avantage concurrentiel.

La véritable motivation à l'implantation du lean au sein de l'industrie aéronautique de MRO n'est autre que les avantages perçus qu'elle offre. Ces prestations sont habituellement associées à des économies de temps, de productivité, d'efficacité, d'espace, de qualité et de coûts. Cependant, Shah et Ward [Shah et Ward, 2003] ont révélé que la plupart des études empiriques portant sur l'impact du lean ne révèlent que les performances opérationnelles qui ne sont qu'une facette du lean. Une étude récente réalisée par le MIT [AMT et MIT, 2005] montre que l'introduction du lean dans l'aéronautique a conduit à :

- 10 à 71% d'heures de travail en moins,
- Une réduction de 11 à 50% des coûts,
- Une amélioration de 27 à 100% de la productivité,
- 25 à 81% de l'espace de l'usine mieux utilisé,
- Une réduction de 16 à 50% du temps d'attente de la clientèle,
- 31 à 98% d'amélioration dans l'inventaire,
- Une amélioration des réusinages et inspections d'environ 20 à 80%.

Tous ces avantages sont des motivations pour l'adoption du lean dans l'industrie du MRO en aéronautique.

En raison de ces facteurs, un certain nombre de personnes travaillant dans l'aérospatiale poursuivent ces pratiques lean [James-Moore et Gibbons, 1997] [Crute et al., 2003]. Il n'est pas surprenant que de plus en plus d'entreprises de MRO se tournent vers la même philosophie qui a assuré la survie et la croissance de l'industrie automobile japonaise.

Conclusion n°6

L'avantage majeur de l'adoption du lean est basé sur l'hypothèse que les pressions commerciales exercées sur l'industrie du MRO favorisent une situation dans laquelle le lean aurait beaucoup à offrir.

4.7 Facteur critique du succès de la mise en œuvre du lean

Les pressions forçant l'industrie du MRO à se tourner vers le lean sont tangibles [Stall, 2005]. Andrew et al. [Andrew et al., 2008] suggère qu'afin d'être concurrent avec succès à l'échelle mondiale il faut définir de façon claire quelle stratégie de processus MRO doit être abordée pour atteindre une viabilité économique à long terme. Comme déjà établi par Karlsson et Ahlstrom [Karlsson et Ahlstrom, 1996], une entreprise ne peut parvenir à développer ses produits simplement en mettant en œuvre les techniques du lean. Pour réussir la conversion vers le lean il faut nécessairement aborder ces techniques interdépendantes de façon cohérente. La réussite de la mise en œuvre du lean nécessite la participation de tout le monde dans tous les rangs de l'entreprise [Baines et al., 2006].

Toutes ces responsabilités exigent de solides compétences en leadership. La littérature [Haque et James-Moore, 2004] suggère que ces responsabilités soient entraînées par des objectifs et des délais. La personne chargée de ces responsabilités doit prouver qu'elle possède des compétences en leadership pour contrôler le programme, et doit être capable d'interpréter efficacement la satisfaction des clients [Haque, 2003] [Liker, 2004].

Conclusion n°7

Le succès de la mise en œuvre du lean est tributaire des forces de gestion de projets et des compétences de la personne chargée de la responsabilité de l'ensemble du projet. Tout programme de mise

en œuvre du lean réussie nécessite la participation complète de l'ensemble du personnel.

4.8 Forces et faiblesses de la littérature existante

Comme déjà dit précédemment il n'y a que très peu d'information dans la littérature sur l'utilisation du lean au sein de l'industrie aéronautique [Haque, 2003].

En outre, Crute et al. [Crute et al., 2003] sont venu à la conclusion que l'application du lean est spécifique à chaque entreprise. Pettersen [Pettersen, 2009] et Liker [Liker, 1998] ont également le même point de vue. Ils ont également souligné la nécessité d'une compréhension globale avant toute mise en œuvre. Bien que l'industrie aérospatiale a dans son ensemble mis en évidence les avantages qui pourraient être tirés du lean, de nombreux gestionnaires d'entreprise sont encore sceptiques sur les résultats. Cette crainte et le manque sous-jacent de compréhension précise du sujet sont dus à la rareté de la littérature sur le sujet.

Inversement, il semble qu'il y ait actuellement une mise en œuvre agressive du lean au sein de l'industrie aéronautique de MRO. La mondialisation et la crise financière mondiale de 2008-2009 en sont les conséquences. Cela suggère qu'avec une quantité d'attention accordée au lean au sein de l'industrie de l'aviation, il y aura une augmentation significative de la quantité de documentation pertinente sur le lean dans ce secteur dans un avenir proche.

Conclusion n°8

Il y a une pénurie de la littérature sur l'adoption du lean dans l'industrie de MRO en aérospatiale.

5 DISCUSSIONS

Il ressort clairement de la littérature une envie d'atténuer les efforts de la concurrence croissante dans l'industrie aéronautique de MRO. De nombreuses organisations se tournent vers la philosophie lean en particulier en raison des avantages qu'elle peut offrir. Ceci est fondé sur son succès dans l'industrie automobile. Cependant, ces avantages perçus doivent être bien compris dans le contexte de l'environnement dans lequel il doit être mis en œuvre.

Tout d'abord, il a été établi dans la littérature qu'il y a une demande croissante de réduction des délais d'exécution des opérateurs des compagnies aériennes. Cette demande est même parfois considérée comme l'un des critères principaux lorsqu'il s'agit d'une compagnie low-cost. Toutefois, il ne faut également pas oublier le fait que, dans la plupart des cas, il y a très peu d'informations sur l'état du produit avant qu'il ne soit envoyé en révision. Cela présente donc une situation déroutante où le client reçoit une garantie d'une date de livraison basée sur des spéculations. Par conséquent, les opérations de MRO ont une durée qui n'est pas totalement connue. Les énormes incertitudes soulignent les défis que doit surmonter l'utilisation du lean pour pouvoir considérer sa réussite au sein de cette industrie. Grâce à des programmes de gestion d'actifs (servitization), l'introduction des OEM sur le marché MRO a introduit une nouvelle dimension de concurrence. Les équipementiers sont en mesure d'installer des programmes de surveillance à distance du produit qui fournissent une mise à jour des informations sur l'état du produit. Ceci renforce ainsi l'avantage concurrentiel des OEM. Cela signifie également qu'ils connaissent les opérations de maintenance qui sont nécessaires avant la réception effective du produit. Ces informations permettent la planification et

l'approvisionnement, ce qui en fait un environnement plus classique pour la mise en œuvre du lean. Toutefois, cela est relativement nouveau, mais reste un phénomène croissant au sein de cette industrie en particulier sur certains secteurs (révision des moteurs). Ces genres de programmes de surveillance à distance sont un luxe que les organisations de MRO traditionnels ne peuvent pas se permettre tout simplement en raison des énormes investissements et aussi à cause des droits de propriété du produit qui restent aux OEM.

De plus, le contexte de sa mise en œuvre suggère une compréhension approfondie de la philosophie lean qui assure sa pertinence, son efficacité et sa durabilité au sein de l'industrie. Comme mentionné dans la littérature, il ne peut y avoir de transfert direct des principes du lean d'une industrie (automobile) à une autre (aéronautique). En effet, son application dans la pratique peut différer entre les secteurs industriels, même en ayant des objectifs similaires. Certaines hypothèses se basant même sur le fait que le lean ne doit se concentrer que sur la création de valeurs par opposition à l'élimination des gaspillages. Bien que les deux soient étroitement liées, elles pourraient être trompeuses dans la pratique. La création de valeurs se concentre sur l'inefficacité du système de production alors que l'élimination des gaspillages découle d'une tolérance beaucoup plus faible des inefficacités du système de production. Ceci montre l'obligation de bien comprendre la philosophie lean pour permettre son implantation. Comme l'a souligné la littérature, tous ces défis présentent une opportunité pour le lean dans cette industrie. Bien que l'étendue de son application dans cette industrie ne peut actuellement pas être établie, la solidité de la philosophie lean sera donc jugée par sa performance dans cette industrie.

6 CONCLUSION

Cet article a révélé ce qui concerne l'utilisation du lean dans la maintenance aéronautique. Après avoir introduit et expliqué le terme "MRO" cet article a développé la problématique de recherche. Par la suite, les résultats trouvés dans la littérature ont abouti à des conclusions qui ont été discutées.

Au total cet article a révélé neuf conclusions sur le sujet de l'implantation et de l'utilisation du lean dans le MRO aéronautique. Cependant, il ne faut pas oublier qu'il n'y a pas beaucoup de littérature sur ce sujet et encore moins de retour d'expérience sur l'utilisation du lean dans ce milieu. La prochaine étape qui suit est la mise en pratique d'un modèle dans cette industrie. C'est-à-dire chercher à implanter et observer les conséquences selon le modèle utilisé dans un MRO aéronautique. Cette deuxième partie du projet sera beaucoup plus longue et complexe, mais permettra de valider ou non les conclusions de cet article.

7 REMERCIMENT

Ce projet est subventionné par le conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (Grant No RDCPJ 459185-13), le CRIAQ (projet LEAN-501) en coopération avec les entreprises Bombardier Aerospace et Bell Hélicoptère Textron.

8 BIBLIOGRAPHIE

Alejandro, M. et Serebrisky, T., (2006) Competition regimes and air transport costs: the effects of open skies agreements. *J. Int. Econ.*, 70(1), 25–51.

Al-Kaabi, H., Potter, A., et Naim, M., (2007) An outsourcing decision model for airlines' MRO activities. *J. Qual.*

Maintenance. Engng, 13(3), 217–227.

Almeida, C., (2005) Low cost maintenance, repair and overhaul providers: an optimum balance to capture the low cost carriers market. MSc Thesis, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, UK.

AMT et MIT's lean aerospace initiative to establish lean flight initiative lean flight initiative aimed at developing and promoting best practices for airline operations, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA. (2005)

Andrew, T., Byard, P., et Henry, P., (2008). Self-maintenance works for repair firm. *Engng Technol. Mag.*, 3(7), 69–72.

Ayeni, P., Baines, T., Lightfoot, H., et Ball, P., (2011) State-of-the-art of 'Lean' in the aviation maintenance repair, and overhaul industry.

Baines, T. S., Lightfoot, H. W., Evans, S., Neely, A., Greenough, R., Peppard, J., Roy, R., Shehab, E., Braganza, A., Tiwari, A., Alcock, J. R., Angus, J. P., Bastl, M., Cousens, A., Irving, P., Johnson, M., Kingston, J., Lockett, H., Martinez, V., Michele, P., Tranfield, D., Walton, I. M., et Wilson, H., (2007) State-of-the-art inproduct-service systems. *Proc. IMechE, Part B: J. Engineering Manufacture*, 221(10), 1543–1552.

Baines, T., Lightfoot, H., Williams, G. M., et Greenough, R., (2006) State-of-the-art in Lean design engineering: a literature review on white collar Lean. *Proc. IMechE, Part B: J. Engineering Manufacture*, 220(9), 1539–1547.

Bamber, L. et Dale, B. G., (2000) Lean production: a study of application in a traditional manufacturing environment. *Prod. Plan Control*, 11(3), 291–298.

Bartholomew, D., (2009) Lean thinking in aircraft repair and maintenance takes wing at FedEx Express, Lean Enterprise Institute, Cambridge, Massachusetts, USA.

Bicheno, J., (2004) The new Lean toolbox: towards fast, flexible flow, 3rd edition, (PICSIE Books, Buckingham).

Boeing, (2006) Asset value and the aircraft maintenance revolution, Point-to-Point, Issue 5, Chicago, Illinois, USA.

Bossert, J., (2003) Lean and Six Sigma – synergy made in heaven. *Qual. Prog., Am. Soc. Qual. Control*, 0033–0542X.

Canaday, H., (2009) MROs race to speed TAT, *Aviation Week, Overhaul & Maintenance*.

Cohen, M., (2006) Implications for service parts management in the rapidly changing aviation MRO market (Helmutt Schmidt University, Germany).

Crute, V., Ward, Y., Brown, S., et Graves, A., (2003) Implementing Lean in aerospace – challenging the assumptions and understanding the challenges. *Technovation*, 23, 917–928.

Farris II, M. T., Wittmann, M. C., et Hasty, R., (2005) Aftermarket support and the supply chain: exemplars and implications from the aerospace. *Int. J. Phys. Distribution Logistics Managmt*, 35(1), 6–19.

Feld, W. M., (2001) Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them, (St Lucie Press, Boca Raton, Florida).

Flight Standards Service, Inspection fundamentals, (2008). In *Aviation maintenance technician handbook – General*, ch. 8, pp. 8-8–8-15, Document FAA-H- 8083-30, Federal Aviation Administration, US Department of Transportation, Washington, DC, USA.

Ford, H., (1922) *My life et work*, (Kessinger Publishing, Whitefish, Montana).

Ford, H., (1926) *Today et tomorrow*, (Doubleday, Page &

- Company, New York).
- George, M. L. et George, M., (2003) Lean Six Sigma for service: how to use Lean speed et Six Sigma quality to improve services and transactions, (McGraw- Hill Professional, New York).
- Haque, B. et James-Moore, M., (2004) Applying Lean thinking to new product introduction. *J. Engng Des.*, 15(1), 1–31.
- Haque, B., (2003) Lean engineering in the aerospace industry. *Proc. IMechE, Part B: J. Engineering Manufacture*, 217(10), 1409–1420.
- Hawker Pacific Aerospace, (2007–2010) Part of Lufthansa Technik Landing Gear Division, Hawker Pacific Aerospace, Sun Valley, California, USA.
- Heikkila, J. et Cordon, C., (2002) Outsourcing: a core or non-core strategic management decision. *Strategic Change*, 11, 183–193.
- Hines, P., Howle, M., et Rich, N., (2004) Learning to evolve; a review of contemporary Lean thinking. *Int. J. Ops Prod. Managmt*, 24(10), 994–1011.
- James-Moore, S. M. et Gibbons, A., (1997) Is Lean manufacturing universally relevant? An investigative methodology. *Int. J. Ops. Prod. Managmt*, 17(9), 899–911.
- Karlsson, C. et Ahlstrom, P., (1996) The difficult part to Lean product development. *J. Product Innovation Managmt*, 13, 283–295.
- Kilpi, J. et Vepsäläinen, A. P. J., (2004) Pooling of spares components between airlines. *J. Air Transport Managmt*, 10, 137–146.
- Laraia, A. C., Moody, P. E., et Hall, R. W., (1999) The kaizen blitz: accelerating breakthroughs in productivity and performance, (Association of Manufacturing Excellence, John Wiley, New York).
- Lewis, M. A., (2000) Lean production and sustainable competitive advantage? *Int. J. Ops Prod. Managmt*, 20(8), 959–978.
- Liker, J. K., (1998) *Becoming Lean: inside stories of US manufacturers*, (Productivity Press, New York).
- Liker, J. M., (2004) *The Toyota way*. (McGraw-Hill, New York).
- Liu, Y., Xu, X. H., et Zou, L., (2008) Lean maintenance framework and its application in clutch maintenance. In *Proceedings of the International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering (ICII '08)*, Taipei, Republic of China, pp. 230–232. (IEEE, New York).
- Lorell, M., Lowell, J., Kennedy, M., et Levaux, H., (2000) *Cheaper, faster, better? Commercial approaches to weapons acquisition* (Rand Corporation, Santa Monica, California).
- Mathaisel, D. F. X., (2005) A lean architecture for transforming the aerospace maintenance, repair and overhaul (MRO) enterprise. *Int. J. Productivity Performance Managmt*, 54(8), 623–644.
- Mcauliffe, G., (2007) *Aftermarket: the ascendancy of Lean in MRO*. Aviation Today.
- Meadows, S., (1997) Electronic commerce technology spawns virtual supplier base for obsolete parts. *Natn. Def.*, 82(533), 19–22.
- Mecham, M., (2006) *Leaner MRO*. *Aviat. Week Space Technol.*, 165(9), 48–49.
- Melton, T., (2005) The benefits to Lean manufacturing: what Lean thinking has to offer process industries. *Chem. Engng Res. Des.*, 83(6), 662–673.
- Michaels, K., (2007) *Air transport MRO market outlook*. In *Proceedings of Aviation Week's 2007 MRO Conference and Exhibition*, Atlanta, Georgia, USA, (AeroStrategy, Amersham, Buckinghamshire).
- Ohno, T., (1988) *Toyota production system: beyond largescale production*, (Productivity Press, Portland, Oregon).
- Parker, S. K., (2003) Longitudinal effects of lean production on employee outcomes and the mediating role of work characteristics. *J. Appl. Psychol.*, 88(4), 620–634.
- Pearce, S. et Bennet, J., (2003) How to use a design–build approach for a construction project: a client guide, CIOB, The Chartered Institute of Building (CIOB).
- Pettersen, J., (2009) Defining lean production: some conceptual et practical issues. *J. Qual. Technol. Managmt*, 21(2), 127–142.
- Rolls-Royce, (2004) *Delivering value through services for the 21st century*, London, UK.
- Roper, W., (2005) *The missing link of lean success*, (SAE International, Warrendale, Pennsylvania).
- Shah, R. et Ward, P., (2003) Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *J. Ops Managmt*, 21(2), 129–149.
- Silverman, E., (2000) Oxygen breathes life into obsoletes. *Electron. Buyers' News*, 1239, 104.
- Smith, R. et Hawkins, B., (2004) *Lean maintenance*, (Elsevier, New York).
- Stall, S., (2005) *Making the business case for MRO*, InTech.
- Tapping, D., Shuker, T., et Luyster, T., (2002) *Value stream management*, (Productivity Press, New York).
- Warwick, G., (2007) *War on waste: maintenance*. Flight Int.
- Wise, R. et Baumgartner, P., (1999) Go downstream: the new profit imperative in manufacturing. *Harvard Business Rev.*, 133–141.
- Womack, J. P. et Jones, D. T., (1996) *Lean thinking*, (Simon & Schuster, New York).
- Womack, J. P. et Jones, D. T., (2003) *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*, (Free Press, New York).
- Womack, J. P., Jones, D. T., et Roos, D., (1990) *The machine that changed the world* (Maxwell Macmillan International, New York).
- Wouter, W. A., Beelaerts, V. B., Elferink, H. A., et Curran, R., (2009) Measuring value creation; a case study in the MRO business. In *Proceedings of the Ninth AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, Hilton Head, South Carolina, USA, paper AIAA-2009-7101 (American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, Virginia).