

Optimiser la production par l'apport des normes : étude rétrospective du cas du MSG-3 dans la maintenance de l'armée de l'air américaine.

Quentin Commine
BETA, Université de Strasbourg

Jérémie Aboiron
Strat Lab, Neofaculty Europe

Résumé :

Cet article porte sur l'impact de la norme sur la maintenance aéronautique en tant que catalyseur de mesures d'optimisation de la production.

L'objectif de cette recherche est d'aborder la thématique de l'optimisation de la maintenance dans le secteur aéronautique. L'aéronautique est un secteur où la norme est omniprésente et dans lequel celle-ci permet une meilleure traçabilité des opérations et une meilleure appréhension des plans d'entretien. Ainsi, nous observons que le coût d'un support peut être amélioré grâce à l'application des normes et à la conjonction de celles-ci avec d'autres approches d'optimisation de la maintenance. L'étude de deux cas, relativement anciens, permet de disposer d'un recul sur les résultats de l'application du MSG-3, norme par ailleurs très connue dans le secteur aéronautique.

Dans cette recherche nous utiliserons une méthode abductive par études de cas.

Dans les deux cas étudiés, la disponibilité des avions augmente significativement.

En conclusion, la bonne utilisation de la norme MSG-3 permet une amélioration significative de la qualité de service et de la fiabilité des avions en rendant notamment plus efficaces les mesures d'optimisations de processus conjointes.

Mots clés : Norme ; Maintenance ; Aéronautique ; Management des opérations ; Gestion de la connaissance.

Abstract :

This article deals with the impact of the standard on aeronautical maintenance as a catalyzer for production optimization measures.

The objective of this research is to address the topic of maintenance optimization in the aeronautical sector. Aeronautics is a sector where the standard is omnipresent and where it allows a better traceability of operations and a better understanding of maintenance plans. Thus, we observe that the cost of a support can be improved thanks to the application of standards and the conjunction of these standards with other maintenance optimization approaches. The study of two relatively old cases provides a perspective on the results of the application of MSG-3, a standard that is also very well known in the aeronautical sector.

In this research we will use an abductive method by case studies.

In the two cases studied, the availability of aircraft increases significantly.

In conclusion, the correct use of the MSG-3 standard allows a significant improvement in the quality of service and reliability of the aircraft by making joint process optimization measures more effective.

Keywords : Standard ; Maintenance ; Aeronautics ; Operations management ; Knowledge management.

1. Introduction

La maintenance des aéronefs est, quelle que soit leur catégorie, un thème fondamental qui relève d'une bonne appréhension des coûts totaux de possession (Zwingelstein, 1996 ; Ellram, 2002 ; Wouters et al., 2005). Les coûts liés à la maintenance des actifs sont une question centrale et sont à l'origine du concept d'efficience à iso effectivité recherchée par nombre d'acteurs, notamment lorsque ces derniers étudient la possibilité d'externaliser leur maintenance (Commine, 2020). Si la fiabilité des aéronefs est une donnée centrale dans l'étude des coûts de possession, c'est bien la maintenance qui représente les coûts principaux de possession d'un aéronef. La conception d'un plan de maintenance permettant d'exploiter la marge la plus haute de possible de la fiabilité de l'actif considéré est donc une donnée centrale. Il s'agit ainsi d'optimiser au maximum la maintenance afin d'en lisser les coûts, sans possibilité d'apparition d'une défaillance et donc d'une atteinte à la sécurité aérienne. Les coûts de support (Glade, 2005) peuvent être optimisés par différents leviers dont celui de la norme, dimension encore peu étudiée sous cet aspect par la littérature existante dans le cadre de la maintenance aéronautique. Par une étude de cas ayant trait à deux approches conjointes au sein de l'armée de l'air américaine, nous montrons comment la maîtrise de l'aspect normatif permet de catalyser des processus innovants et d'en retirer des résultats optimaux.

Cet article s'intéresse à la norme aéronautique MSG-3, une norme à la fois éprouvée et en constante évolution. Ainsi, si le MSG-3 est appliqué depuis longtemps sur les avions, sa mise en place sur hélicoptère est encore très récente (le premier hélicoptère d'Airbus Helicopters sous format MSG-3 est l'EC 175, mis en service en 1974). L'objet étudié, deux cas assez anciens au sein de l'armée de l'air américaine, permet donc à la fois d'observer un grand recul et d'explorer une norme dont l'actualité d'utilisation est très significative.

Créer une norme, c'est délimiter des contours afférents à un objet, une pratique, ou un processus. Au-delà de cette définition basique, la question de la norme induit l'idée de Knowledge Management au travers d'une meilleure gestion, d'un ordonnancement optimal de l'information en vue de l'atteinte d'objectifs préalablement définis. Nous définissons ces concepts clés dans la partie suivante.

2. Concepts clés

Kodama (2019) pose la question récurrente de la différence fondamentale qui existe dans les différents niveaux de connaissance entre les individus et les organisations. Selon lui, il est tout aussi important de connaître les limites de la connaissance et d'avoir connaissance des limites. Il s'agit ici à la fois d'une problématique de perception et de découverte de la connaissance. A ce titre l'auteur identifie les impacts de la qualité des connaissances sur la créativité et l'innovation des personnes et des organisations. De plus, il montre que la connaissance des limites est avant tout une pensée stratégique de l'organisation qui permet la créativité et l'innovation. L'exécution des tâches à la fois au niveau personnel et organisationnel permet de fait d'apporter des solutions aux problèmes complexes. La bonne gestion des connaissances devient alors un facteur clé de succès.

Au début du XXème siècle, les chercheurs avaient convenu que l'individu prenait systématiquement une décision rationnelle. Or Simon (1979) a remis en cause cette posture en introduisant la notion de rationalité limitée. En effet, un individu prend une décision uniquement en fonction des informations qu'il a en sa possession au moment où il prend sa décision. Dans le même temps, Simon démontre que l'individu n'ayant pas toutes les informations nécessaires à sa prise de décision, il ne cherche pas de solutions alternatives en vue d'obtenir le résultat qui serait le plus satisfaisant. Au contraire, l'individu choisira quasi systématiquement la solution « la moins pire ». D'où l'importance d'avoir un système d'information permettant de collecter et d'analyser un nombre important et croissant de données. Ceci permettant au décideur d'avoir un maximum d'informations pour optimiser sa prise de décision.

Simon (1979)¹ décrit la décision selon trois formes distinctes : la décision structurée ; semi-structurée ; et non-structurée. Selon Anthony (1965) la prise de décision varie suivant le type de contrôle sur lequel opère la décision. Il se décompose en trois grandes typologies : Stratégique (long terme) ; Management (tactique) ; et Opérationnel (au quotidien). Plus tard Gory (1971) crée une matrice mettant en corrélation le type de contrôle et la forme de décision. L'objectif étant qu'à chaque niveau de l'organisation et à chaque enjeu, la prise de décision se fonde sur une analyse optimale des données dans le but de se débarrasser des facteurs d'incertitude qui pèsent sur l'organisation.

¹ Opus cit.

Le concept de gestion des connaissances (Knowledge Management ou KM) est apparu véritablement sous ce nom dans les années 1990 et peut s'appuyer aujourd'hui sur un courant important développé en particulier par Nonaka et Takeuchi. Ils ont découpé la connaissance à travers deux formes de savoir : le savoir explicite et le savoir tacite. À cela, Grundstein (2000) ajoute que « *le management des activités et des processus est destiné à amplifier l'utilisation et la création de connaissances dans les organisations selon deux finalités complémentaires fortement imbriquées : une finalité patrimoniale et une finalité d'innovation durable* ». C'est dans ce contexte que l'ensemble des informations qui sont collectées, traitées, stockées et utilisées par l'entreprise constituent un patrimoine immatériel indispensable au développement de l'entreprise. La gestion des connaissances est la première étape d'une dynamique d'innovation et de création d'une organisation apprenante.

Le Knowledge management permet d'améliorer considérablement les résultats des équipes projets en entreprise mais seulement lorsqu'il est développé de façon optimale. Plusieurs limites peuvent remettre en question la pertinence de cet outil et son efficacité par rapport aux moyens colossaux que son développement implique tant au niveau financier qu'au niveau organisationnel. Les connaissances tacites tout d'abord sont très difficiles à transmettre alors qu'elles représentent une grande partie de ce qui fait la valeur ajoutée d'une entreprise en se différenciant des concurrents par des moyens autres que techniques. En effet, la technique est aujourd'hui disponible beaucoup plus facilement, en revanche, les éléments clés porteurs des compétences clés qui garantissent presque le succès d'un projet sont eux beaucoup plus rare. Le Knowledge Management doit donc encore se développer afin de faire de ces connaissances tacites un élément transmissible facilement au même titre que les connaissances explicites. Le Knowledge Management peut être considéré comme un outil ambivalent. Il va d'une part mettre en mouvement un système ou un ensemble de systèmes informatiques et technologiques très important mais d'autre part il va se baser sur le capital humain qui sera même en définitive l'élément majeur de l'outil.

Il nous semble évident que la démarche de gestion des connaissances est un facteur d'innovation et de création d'avantages concurrentiels durables. Dans un contexte d'incertitude, les entreprises renforcent leurs métiers et leurs compétences de base afin de permettre à l'organisation de mettre en œuvre des expérimentations sous-jacentes et faire émerger des innovations. Construire une organisation apprenante, c'est aussi avoir une culture du défi et de l'échange. Ce qui signifie être capable de remettre en cause les systèmes établis, renouveler les expériences et améliorer constamment les connaissances acquises. Construire une organisation apprenante c'est aussi lutter contre les freins de cet apprentissage collectif, comme : les luttes de pouvoir, l'expérience personnelle comme acquis, la compétition entre les individus ou groupes d'individus, l'influence des parties prenantes et l'accès à l'information. La norme s'inscrit dans le Knowledge Management en tant que construit des savoirs agrégés par une organisation et permet ainsi aux individus qui la composent de s'approprier individuellement ces savoirs en vue de leur application et ainsi d'entretenir une amélioration continue de l'organisation (Pellicer et al., 2018). La norme semble permettre une optimisation des processus décisionnels au travers d'un cadre donné à ces derniers et une mitigation de la rationalité limitée des agents.

La norme semble ainsi permettre une meilleure efficacité des processus inhérents aux organisations. L'objet de cet article est d'étudier cette hypothèse au travers d'un objet précis : la maintenance aéronautique. Nous posons ainsi la question suivante :

La pleine appréhension des normes permet-elle aux processus de maintenance d'être plus efficace ?

Nous répondrons à cette question par l'exemple de la norme de maintenance MSG-3 et par une illustration au moyen de deux cas. Nous expliquons tout d'abord ce qu'est une norme avant de décrire la maintenance et de montrer comment celle-ci est décrite au moyen de la norme MSG-3.

2.1 Influence normative, de quoi parlons-nous ?

Une norme désigne un ensemble de spécifications décrivant un objet, ou une manière d'opérer (Revel, 2013). Cela crée un principe servant de règle et de référence technique. La norme n'est pas obligatoire, il s'agit d'une adhésion volontaire, sauf si celle-ci est reprise par une loi, un décret ou autre texte réglementaire. Les normes sont élaborées par de nombreux organismes internationaux, communautaires ou nationaux. Les plus connus sont l'International Organization for Standardization (ISO), la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), le Comité Européen de Normalisation (CEN), et enfin l'Association Française de Normalisation

(AFNOR). Ici la norme qui nous intéresse sera la Maintenance Steering Group (MSG-3). Nous développerons plus loin cette norme. Les normes, lorsqu'elles ne présentent aucun caractère obligatoire, sont appliquées par tous les acteurs qui souhaitent y adhérer, ainsi que par les organismes qui les créent et les contrôlent.

Nous conviendrons que les normes sont comme l'état de l'art du secteur privé devenu une norme formelle ou institutionnelle. Aujourd'hui, ces normes impactent, contraignent, et dirigent l'environnement concurrentiel de l'ensemble des secteurs d'activité au niveau national et international, le secteur de l'aéronautique n'échappe donc pas à la règle. Les normes techniques sont donc une forme de gouvernance privée de l'activité économique sous forme de référentiel, de guide de bonnes pratiques. C'est une forme de pouvoir invisible qui régule les activités privées et dont personne ne sait qui en est à l'origine. La norme privée (ISO, NF, MSG, ...) ne s'oppose pas à la norme publique (lois et circulaires) mais apporte une complémentarité et une spécificité de la conformité pour l'ensemble des secteurs d'activité. Il existe donc un jeu d'influence entre acteurs publics, acteurs privés et auditeurs qui se partagent des revenus sur le compte sous couvert de régulation d'intérêt général.

En France, pour tout secteur confondu, le marché de la normalisation est estimé à 300 millions d'euros. Pour les acteurs économiques, maîtriser l'ensemble des règles et des normes est ainsi aujourd'hui un facteur clé de succès déterminant pour intervenir sur un marché. Afin de rester compétitives, les entreprises doivent en plus de maîtriser l'ensemble des règles et normes, être capables de créer à leur tour des contraintes pour les autres acteurs de leur secteur. Ces contraintes peuvent être créées par l'intermédiaire de nouvelles normes c'est-à-dire de nouvelles bonnes pratiques dans le métier, ou par le dépôt de brevets. Ce dernier en plus d'imposer une norme, impose un process de production. Ce qui revient à dire que non seulement la norme peut contraindre à certains résultats mais aussi à la façon dont on va les atteindre. Le MSG-3 est une norme appliquée à la maintenance des aéronefs : posons ainsi maintenant la question de ce qu'est la maintenance, au travers d'un prisme normatif, avant d'aller plus loin avec la norme spécifiquement étudiée.

2.2 La maintenance

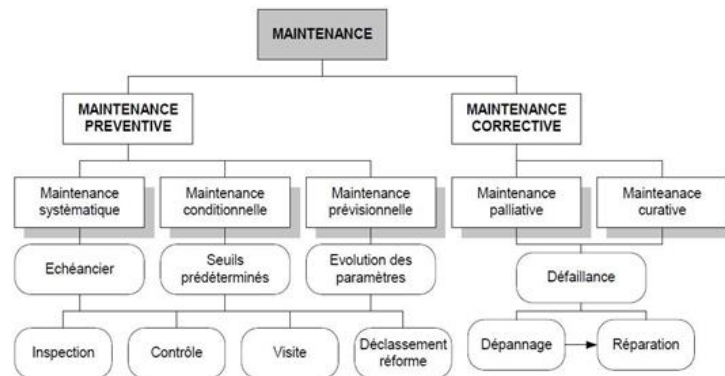
Pour définir la maintenance, on peut se baser sur plusieurs définitions, la première étant celle de l'Association Française de Normalisation : « *l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé* » (normes AFNOR NFX 60-010 datant de 1994). On distingue plusieurs niveaux de maintenance, en fonction de la technicité, du matériel nécessaire, de la qualification des personnels et du temps d'intervention afférent à l'opération. Ces niveaux sont normés dans le tableau suivant :

Fig. n°1 : niveaux d'intervention définis par l'AFNOR - NF X 60-010

Niveau	Description	Exemple
1°	Réglages simples ou échanges de consommables prévus par le constructeur, sans démontage et en toute sécurité	Réglages, nettoyage, ...
2°	Dépannages par échange standard et opérations préventives simples	Graissage, lubrification, contrôle de bon fonctionnement
3°	Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants, et opérations préventives	Analyse, diagnostic de pannes, réparation, réglage d'appareils.
4°	Travaux importants, correctifs ou préventifs, sans modification ou reconstruction	Travaux suite à un diagnostic et/ou une expertise
5°	Rénovation, reconstruction ou réparation importantes en atelier spécialisé	Souvent effectué par le constructeur

La maintenance est définie en plusieurs types dont les deux principaux sont la maintenance préventive visant à empêcher un dysfonctionnement d'arriver, et la maintenance corrective qui vise elle à intervenir une fois la panne confirmée. Ces types de maintenance sont définis dans la figure suivante :

Fig. n°2 : classification des types de maintenance d'après la norme NF X 60-010



Le processus MSG-3 ayant surtout trait à l'entretien des aéronefs, donc à la maintenance préventive, c'est sur ce point que sera portée toute l'attention de cette étude.

En aéronautique, l'entretien est une notion ayant beaucoup évolué au cours du temps. En effet, les premiers règlements de navigabilité stipulaient dès 1930 : « *les instruments et les équipements devront être révisés à intervalles suffisants pour assurer leur fonctionnement correct à tout moment.* »². Les exigences en termes d'entretien ont donc largement évolué, afin d'augmenter la fiabilité des aéronefs. Il s'agit donc d'éviter une panne d'un élément, qui pourrait être préjudiciable au fonctionnement de l'aéronef, tout en évitant -au possible- la sur-maintenance, perçue comme un gaspillage (Raddam et al., 2015). Il convient maintenant de définir ce qu'est la notion d'entretien d'un aéronef.

Premièrement, on peut définir l'entretien d'une machine en usant du concept de maintenance préventive de la norme NF X 60-010 : « *maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique), et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle)* »

En aéronautique et dans la sémantique de la navigabilité, il s'agit très souvent des opérations légères effectuées « en ligne » par opposition à la maintenance lourde effectuée « en base ». Cette différence se fait notamment en termes de technicité et de complexité de l'opération à effectuer, des moyens matériels³, du temps d'intervention nécessaire et (spécifique à l'aviation) du degré de l'approbation pour remise en service (APRS).

La maintenance préventive est effectuée en ligne, mais également en base. Les visites d'entretiens périodiques sont le meilleur exemple de maintenance lourde dédiée à l'entretien des aéronefs. L'entretien d'un aéronef est un processus global.

Nous définissons maintenant les diverses formes de maintenance préventive. Il en existe trois types : la maintenance systématique, la maintenance conditionnelle, la maintenance prévisionnelle.

En se basant sur la norme NF X 60-010, on peut définir ces types de maintenance de la façon suivante :

- Maintenance préventive systématique : « *Les remplacements des pièces et des fluides ont lieu quel que soit leur état de dégradation, et de façon périodique* ». Les échéances calendaires en documentation aéronautique sont un exemple de ce type de maintenance. En effet, une pièce identifiée comme telle dispose d'un temps limite de vie (TLV) ou d'un temps limite avant remplacement (TLR).
- Maintenance préventive conditionnelle : « *les remplacements ou les remises en état des pièces, les remplacements ou les appoints en fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation. Une décision volontaire est alors prise d'effectuer les remplacements ou les remises en état nécessaires.* » Un exemple de ce type de maintenance réside dans l'application de certaines consignes de navigabilité ou

² Cité et traduit du chapitre 7 E section 5, Aeronautical Bulletin, Transport airline inspection service (l'ancêtre de la FAA) par Chenevriér, (2001).

³ Infrastructures, rechanges, outillage et documentation notamment.

Commine Q., Aboiron J., 2021, Optimiser la production par l'apport des normes : étude rétrospective du cas du MSG-3 dans la maintenance de l'armée de l'air américaine, *Revue Internationale de Management et de Stratégie*, <http://www.revue-rms.fr/>.

plus simplement dans la surveillance de certains éléments lors des visites systématiques (avant, inter-, et consécutive aux vols).

- Maintenance prévisionnelle : « *maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions* ».

La maintenance préventive permet ainsi d'éviter les opérations de maintenance curative, bien plus coûteuses en termes de main d'œuvre, de rechanges, de coûts "environnementaux" (infrastructures, usure des outillages...) et dont l'occurrence n'est pas souhaitable pour des questions de fiabilité et de sécurité des vols. Il s'agit donc d'intervenir avant le dysfonctionnement d'un élément. Cette maintenance est normée pour plus de traçabilité et d'efficacité, nous étudions ceci dans la sous-partie suivante.

2.3 La norme en aviation

Les normes concernent une très grande partie des réalisations de l'homme, aujourd'hui. La norme est ainsi définie par l'Organisation Internationale de Normalisation : « *document, établi par consensus et approuvé par un organisme reconnu, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné* »⁴. La norme apparaît ainsi en tant que « *soft law* » façonnée au gré de l'influence de divers groupes d'intérêts, agissant donc en tant que « *soft power* »⁵. Cochoy (2000) définit la normalisation industrielle comme une « *diplomatie des techniques* », alternative à la guerre commerciale dans son sens strict.

Nous pouvons principalement regrouper la notion de norme sous quatre formes :

- Les normes fondamentales, comme les normes portant les unités de mesure (ISO 31) - Les normes de spécification, comme les normes portant sur la conformité de pièces.
- Les normes d'analyse et d'essais
- Les normes d'organisation, ce sont ces dernières qui seront intéressantes dans cette étude. Dans le secteur aéronautique, l'étendue des normes est immense et couvre un grand nombre de secteurs.

2.3.1 Un exemple de norme en aviation : l'ATA-100

Créée en 1936, l'Air Transport Association of America regroupe à l'époque 14 compagnies aériennes américaines et est la seule association de ce type dans le monde. Elle fut donc pionnière dans l'établissement de normes aéronautiques qui sont encore d'usage aujourd'hui, alors que l'ATA en tant que telle n'existe plus. Cette entité (et son dérivé actuel A4A) représenta les intérêts de l'industrie américaine des principaux opérateurs de transport aérien devant diverses organisations de décideurs comme le congrès américain mais aussi l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI).

La norme ATA-100 a été créée dans un objectif de sécurité aérienne pour la maintenance aéronautique. Celle-ci compte des chapitres allant de 00 (chapitre administratif) à 92 (installations électriques et électroniques)⁶. Si la norme ATA 100 reste utilisée pour des machines de l'aviation générale ou pour certains systèmes déjà anciens (cas de l'EC 665 TIGRE pour les remontées de pannes), celle-ci a évolué en i Spec 2200 puis S1000D, dans l'évolution la plus récente (Mayer, 2010).

Couplée à une utilisation de l'anglais « contrôlé » (Ryan, 2009)⁷, permettant de ne pas interpréter la documentation aéronautique (afin de l'appliquer stricto-sensu), cette normalisation permet d'optimiser la maintenance aéronautique en facilitant la compréhension et la recherche de solutions techniques dans la documentation.

Cet exemple permet de comprendre l'action de l'ATA dans l'harmonisation et la sécurisation de la maintenance aéronautique, aux prémices de la méthodologie MSG-3⁸.

⁴ Directives ISO/CEI, Partie 2, Règles de structure et de rédaction des Normes internationales. Cinquième édition 2004.

⁵ On peut définir le concept de soft power d'après Nye (2008) : « *Soft power is the ability to affect others to obtain the outcomes one wants through attraction rather than coercion or payment* ».

⁶ Lugan, G. (2015) : pp. 10-12.

⁷ On peut notamment évoquer l'anglais simplifié « *ASD STE-100 Simplified Technical English* ». Voir : Ryan (2009).

⁸ Voir la définition du MSG3 comme « *standard* » issu de l'ATA : la dimension normative est bien présente

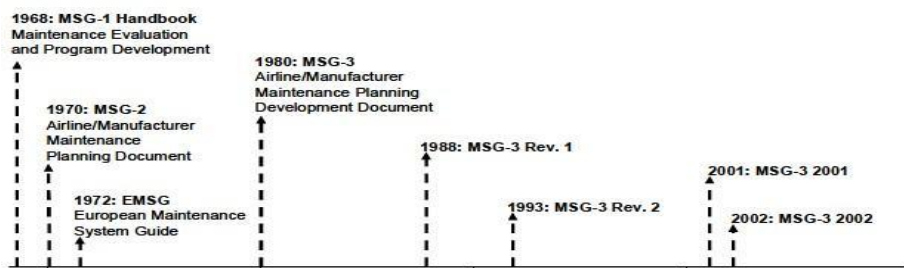
2.3.2 La méthodologie MSG-3

MSG est l'acronyme de « *Maintenance Steering Group* ». En 1967, United Airlines va pour la première fois produire un document afin d'optimiser les processus de maintenance, celui-ci est connu sous la forme suivante : « *Diagrammes de décision pour l'analyse logique des programmes de maintenance* ».

Les éléments de la norme MSG-3 ayant été produits à partir de travaux communs de l'industrie, on note déjà un esprit « collégial » dans la démarche et qui est au fondement de la méthodologie MSG-3 comme norme de processus avec un fort impact organisationnel.

D'un point de vue historique, c'est lors du développement du BOEING 747, avec un programme de maintenance approuvé par la conférence interairline du B747, qu'est née -en 1969- la norme MSG-1⁹. Le 25 mars 1970, un nouveau document est publié par l'Air Transport Association : l'Airline-Manufacturer Maintenance Program Planning Document. Ce dernier est destiné à définir la maintenance programmée du DC10 et du Lockheed 1011, donnant ainsi naissance à la méthodologie MSG-2 (Chenevriér, P. (2001), p.17). L'avènement de la méthodologie MSG-3 se produira en 1978 quand United Airlines (principalement) et le département de la défense américain développent une évolution du MSG-2, en basant sur l'expérience de ce processus et de son application en aéronautique. Cette étude est alors également complétée par un plus grand recul technique aéronautique permettant l'établissement d'une norme plus précise dans son appropriation¹⁰. Plus tard, diverses mises à jour et adaptations ont vu le jour telle que la création de l'EMSG (European Maintenance System Guide) publié en février 1973 par l'Association of European Airlines. Il fut notamment développé pour les programmes de maintenance d'aéronefs alors modernes tels que les A300 B2 et B4, ainsi que pour le Concorde (Chenevriér, 2001, p.17). Chenevriér (2001) nous apprend également que l'une des dernières évolutions du MSG 3 consiste en la publication par l'ATA, le 30 septembre 1980, de l'Airline Manufacturer Maintenance Program Development Document, amendé en 1988 et 1993, avant l'avènement d'autres versions ultérieures parallèlement aux évolutions de la technicité et du marché des aéronefs. Ce document vise par ailleurs à concevoir les programmes de maintenance des aéronefs A310, A300-600, A319-320-321, A330-340 et B757-767-777. Le processus MSG-3 montre ainsi une démarche itérative d'amélioration continue, que nous décrivons dans la figure suivante, en prenant une période allant de 1968 à 2002.

Figure N°3 : création et évolution du MSG entre 1968 et 2002 (Hinsch, 2011)



Comme énoncé plus tôt, la norme résulte d'un construit évolutif de savoirs et permet par un cadrage de ces derniers une appropriation par les individus de pratiques uniformisées, permettant ainsi une fluidification d'activités telles que la production et en améliorant l'efficacité et l'efficacéité. Nous nous intéressons maintenant de manière plus précise aux principes inhérents au MSG-3.

2.3.3 Le principe du MSG-3 : plus d'efficéence pour une efficacéité optimale.

Deschamps (2014) définit le MSG-3 de la manière suivante : « *La méthode MSG-3 fut développée afin de définir quoi, quand et comment maintenir les aéronefs. Elle produit des tâches de maintenance orientées sur les coûts, les aspects opérationnels et la sécurité. L'intention de ces tâches de maintenances sont préventives afin d'éviter des défaillances ainsi que la recherche de défaillances* ». Le MSG-3 est une méthode de maintenance basée sur la fiabilité (MBF) que l'on peut résumer selon quatre grands principes immuables (selon Smith, 1993).

⁹ En 1960, l'industrie aéronautique américaine forme une « task force » afin de développer les possibilités de maintenance préventive, ce qui aboutira sur la maintenance « on condition », voir : Boeing QTR_04 06 Quartulary Publication-Maintenance Program Enhancement- « history of maintenance », p.6.

¹⁰ Boeing QTR_04 06 Quartulary Publication-Maintenance Program Enhancement- « history of maintenance », p.6.

Le premier principe consiste à préserver la « *fonctionnalité du système* ». Ce principe se concentre sur la fonctionnalité obtenue comme résultat des opérations de maintenance et non sur lesdites opérations en elles-mêmes. C'est un concept à la fois pratique et très théorique car il s'oppose à l'idée de « *préserver les équipements* ». Le second principe est d'identifier les différentes possibilités de pannes qui peuvent affecter la fonctionnalité. Il s'agit ici de savoir ce qui peut se passer, et d'identifier les différents ampleurs possibles pour le phénomène afin d'être capable de concevoir la maintenance préventive d'un système et quantifier les pertes possibles, en termes de fonctionnalités. Ce principe pousse ainsi les acteurs à conduire une véritable analyse de risques en vue de produire une norme permettant une gestion optimale de ceux-ci. Le troisième principe consiste, dans la gestion du processus de maintenance, à évaluer et assigner des priorités techniques en tenant compte des pertes fonctionnelles induites. Le quatrième et dernier principe, consiste à identifier et ne sélectionner des actions de maintenance préventive qui ne peuvent être qu'applicable et effectives afin de « *préserver des défaillances fonctionnelles* » (Chenevriér, 2001, p.19).

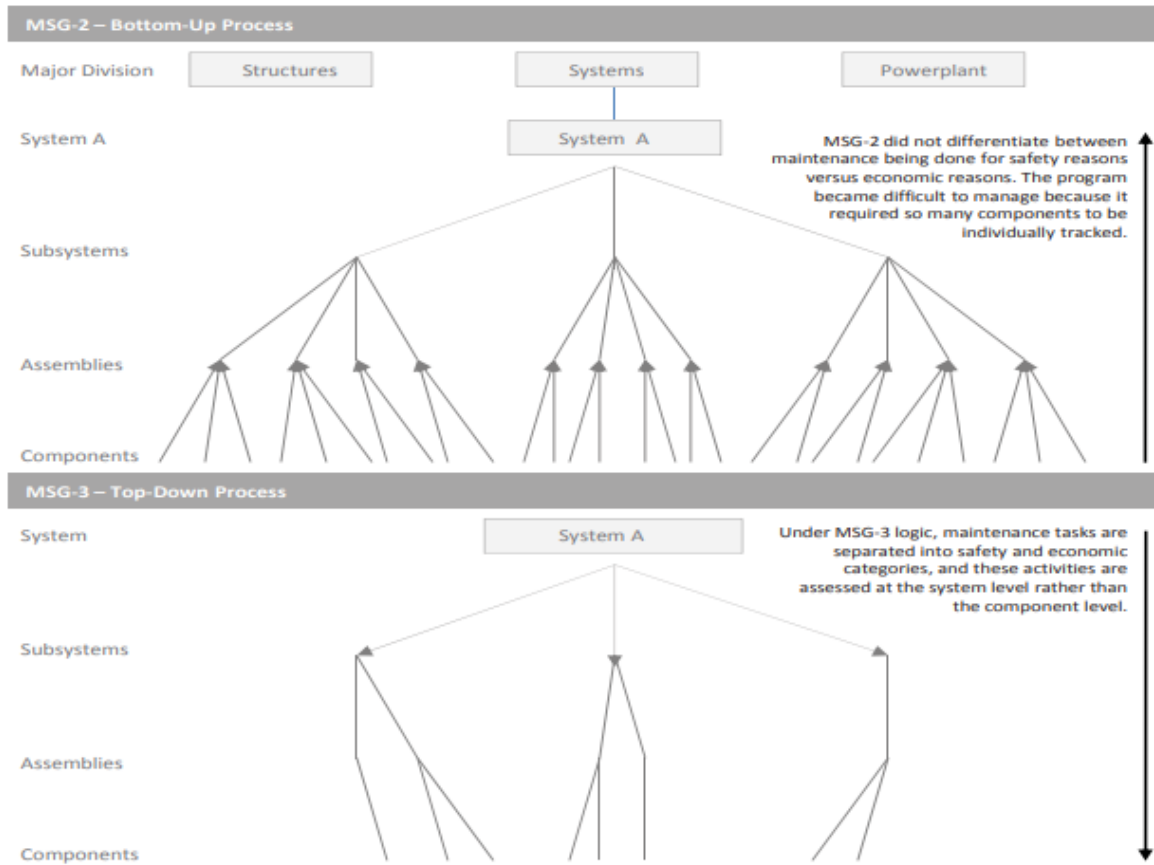
En se basant sur les trois derniers principes, il est possible de déterminer les actions de maintenance préventive que l'on pourrait entreprendre. Pour ce faire, il est également nécessaire d'utiliser un « filtre » qui est de déterminer si ces tâches sont applicables et effectives.

Tout d'abord, on entend par applicable la chose suivante : rentrer dans le cadre de la maintenance préventive en prévenant une panne, détectant le déclenchement d'une panne ou découvrant une panne cachée. Également, on définit comme effective le cas d'une opération dont on juge qu'il est nécessaire de mettre les moyens pour la réaliser.

On apprend donc par Smith (1993) que quatre grands principes sont fondamentaux pour toute maintenance basée sur la fiabilité, donc dans le cadre du MSG-3 : « *Preserve functions, identify failure modes that can defeat the functions, prioritize function needs, select only applicable and effective PM tasks* ».

Enfin, l'approche MSG-3 se distingue du MSG-2 par son paradigme « top-down », au contraire de la philosophie « bottom up » prônée jusque-là : On identifie le système défaillant et la remontée s'effectue jusqu'au composant pour avoir la meilleure définition de la défaillance possible. Nous montrons cette différence entre MSG-2 et MSG-3 par la figure suivante que nous citons Ackert (2010).

Figure N°4 : Approche top-down du MSG-3 Ackert (2010, p.4)



La norme MSG-3 vise à rationaliser le nombre de tâches d'entretien afin de diminuer celles-ci tout en se basant sur des agrégats de données modélisant la fiabilité dans différentes zones de l'aéronef, afin de rationaliser les coûts sans amoindrir la sécurité comme montré par Anderson (1999). La fluidification induite par le MSG-3 se traduit donc dans la conception du plan d'entretien des aéronefs.

2.3.4 L'analyse MSG-3 dans la conception d'un plan d'entretien

Une analyse MSG-3 se compose de trois types de programmes :

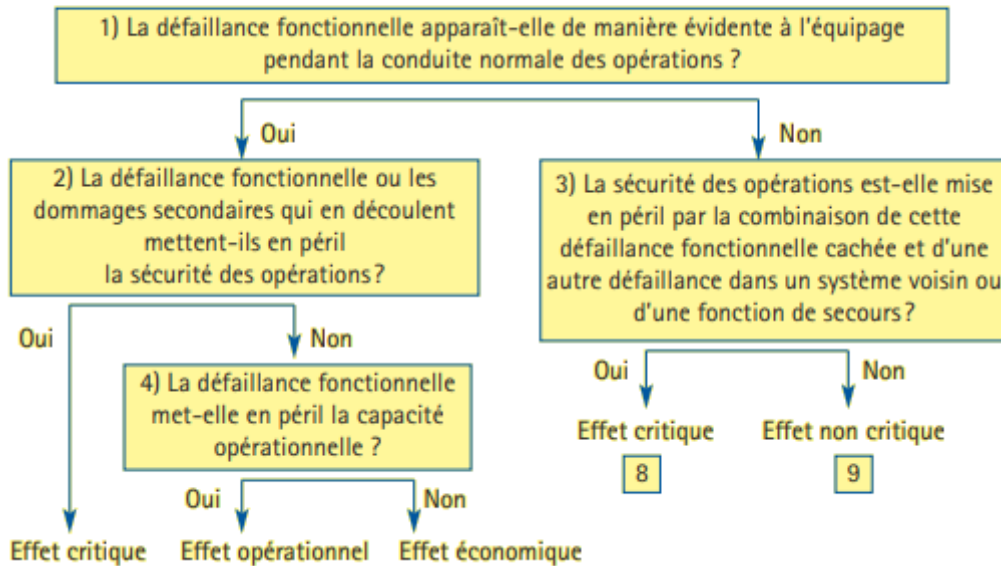
Tout d'abord, un programme « *moteurs et systèmes* » identifiant les MSI (Maintenance Significant Items) déterminés par les spécialistes du type d'aéronef et pouvant avoir un effet délétère car mettant en jeu la sécurité des vols, ou pouvant être à l'origine d'une perte en termes de revenus opérationnels ou rester non détectés.

Après avoir détaillé le type de défaillance et quantifié les dommages possibles, une analyse des risques est effectuée d'après quatre points : fonctions touchées, type de défaillance, fréquence de l'occurrence et causes. On utilise par la suite un « arbre d'analyse logique MSG-3 » (Chenevriér, 2001, p.19) dont l'idée est d'évaluer si cette défaillance est détectable par l'équipage, facteur influant très directement sur la criticité de la défaillance considérée. Dans cet esprit, ce type d'arbre d'analyse logique permet également de définir le degré de criticité d'une défaillance sur un système ainsi que d'en évaluer le type de criticité : celle-ci peut être critique en termes de sécurité des vols (auquel cas elle est prioritaire) ou entacher l'efficacité opérationnelle ou économique du vol. Cet arbre est matérialisé dans la figure suivante.

Fig. n°5 : Arbre d'analyse logique MSI (Chenevriér, 2001, p.20)

Analyse MSI : arbre de décision

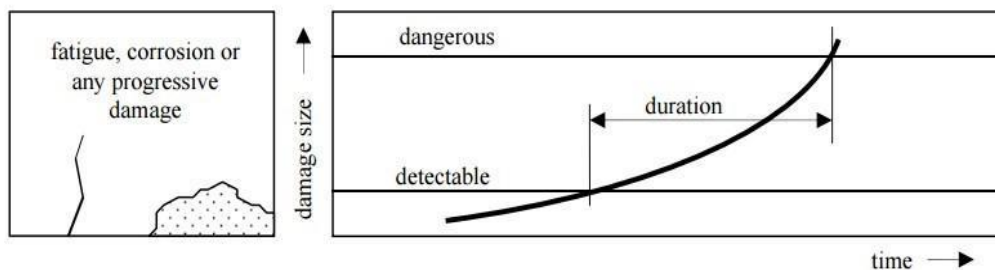
• Premier niveau : défaillance fonctionnelle



Le second programme concerne la structure : il s'agit ici de définir les SSI (Structure Significant Items) selon deux principaux critères. Le premier concerne les conséquences de la défaillance et le second la probabilité de défaillance selon trois possibilités : accident, environnement défavorable, fatigue des matériaux.

On rejoint par exemple l'équation de Weibull, si l'on considère la présence de corrosion sur l'item structural étudié (Chenevriér, 2001). La corrosion, par exemple, doit être surveillée selon trois niveaux, selon qu'elle soit dans les tolérances, hors tolérances ou menaçant la sécurité. La figure suivante nous montre un modèle de détection et d'acceptation d'un défaut structural.

Fig. n°6 : Détection et évolution d'une défaillance structurale (Ackert, 2010, p.5)



Afin de prévenir toute défaillance structurale grave, le MSG 3 prescrit un programme de contrôle et de prévention de la corrosion (CPCP)¹¹ et encourage certaines innovations par les constructeurs comme dans le cas d'Airbus au travers de pratiques de conception de telles sortes que les items pouvant présenter une défaillance structurale critique puissent être visible de l'extérieur. On utilise, dans le cas des SSI, un arbre similaire au MSI, précédemment étudié. Enfin, les Airworthiness Limitations Items (ALI) représentent les items critiques en termes de fatigue, de cycles de vol et de corrosion (Chenevriér, 2001).

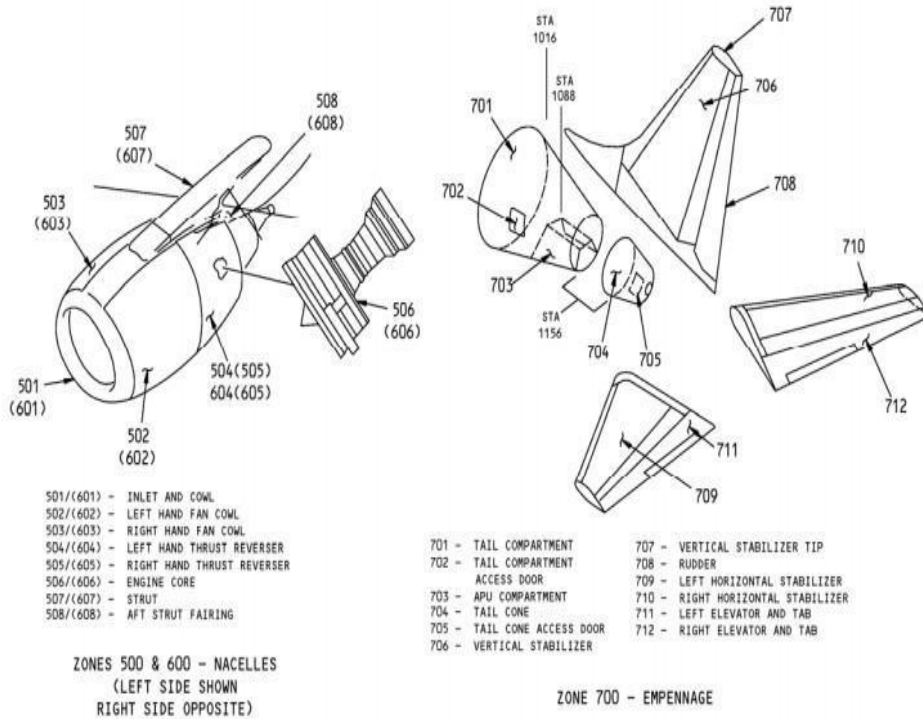
Enfin, les programmes d'inspection de zones (ZIP) divisent l'aéronef en huit zones distinctement délimitées¹². Ce programme ne comporte qu'un seul type de tâche : l'inspection visuelle. Ce type de tâche comporte : la

¹¹ Ackert, S. P. (2010), p.5.

¹² Ces zones sont : fuselage inférieur jusqu'à la cloison pressurisée arrière, fuselage supérieur jusqu'à la cloison pressurisée arrière, section arrière et empennage, moteurs, pylônes et nacelles, aile droite, aile gauche, train d'atterrissage et trappes de train, portes d'embarquement passagers et cargo. Voir : Chenevriér, P. (2001), p.21.

vérification de parties et de défauts visibles, la bonne installation et le freinage de divers éléments ainsi que la fixation des capots. Un exemple de cette décomposition des aéronefs est illustré dans la figure suivante.

Fig. n°7 : Exemple de zones d'inspection sur Boeing 737 ¹³

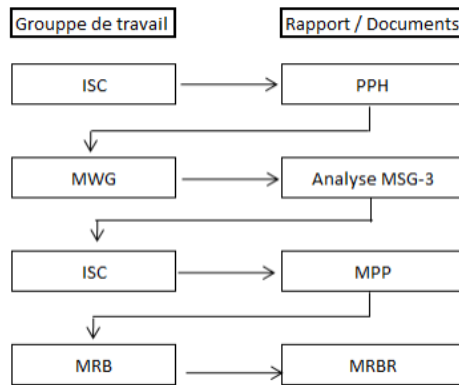


Les différentes tâches de maintenances prescrites sont liées à des seuils déclenchant leur exécution et de nombreux défauts constatés sur les MSI et SSI peuvent donner lieu à des tâches dans le ZIP (Chenevriér, 2001). La maintenance pendant le stockage des aéronefs donne lieu à des mesures de stockage en fonction de la durée du stockage et de la configuration de l'aéronef (Ackert, 2010). Avec l'ensemble de ces éléments, des éléments réglementaires et des éléments liés à la certification (Ackert, 2010, p.9) ainsi qu'à la navigabilité de l'aéronef, est construit le MRBR (Hinsch, 2011). Ce dernier évolue en MPD, document « pratique » quant à la maintenance effective des aéronefs.

De manière générale, l'élaboration d'un plan de maintenance préventive au moyen du MSG-3 est représentée dans la figure suivante.

Fig. n°10 : Création d'un MRBR (Lugan, 2015, p.42)

¹³ Voir Maintenance Review Board Report (MRBR) Boeing Document D6-82981-MRBR- révision de mai 2007, p. D-6.



Le MSG-3 permet de normer une méthode de définition des plans d'entretien, en fonction de l'analyse des risques effectuée sur chaque aéronef considéré. La figure suivante montre un exemple d'échelonnement des visites d'entretien en fonction des aéronefs.

Fig. n°11 : échelonnement des visites de maintenance par aéronefs¹⁴

Aircraft	'A' Check	'B' Check	'C' Check	'D' Check
B737-300	275 FH	825 FH	18 months	48 months
B737-400	275 FH	825 FH	18 months	48 months
B737-500	275 FH	825 FH	18 months	48 months
B737-800	500 FH	n/a	4000-6000 FH	96-144 months
B757-200	500-600 FH	n/a	18 months / 6000 FH / 3000 FC	72 months
B767-300ER	600 FH	n/a	18 months / 6000 FH	72 months
B747-400	600 FH	n/a	18 months / 7500 FH	72 months
A319	600 FH	n/a	18-20 months / 6000 FH / 3000 FC	72 months
A320	600 FH	n/a	18-20 months / 6000 FH / 3000 FC	72 months
A321	600 FH	n/a	18-20 months / 6000 FH / 3000 FC	72 months
ATR42-300	300-500 FH	n/a	3000-4000 FH	96 months
ATR72-200	300-500 FH	n/a	3000-4000 FH	96 months

Multiple sources, including: Aircraft Technology Engineering & Maintenance, Aircraft Commerce and Boeing AERO.

Expliquons les différents types d'entretiens ci-dessus. Un programme de maintenance préventive se compose ainsi de visites périodiques (Checks), ici quatre : de A à D. Le but d'une approche MSG3 est donc de maintenir un aéronef en état de vol tout en minimisant la fréquence -et l'exhaustivité- des vérifications.

La réalisation des opérations se fait selon trois grandes approches décisionnelles :

- HT (Hard Time) : pratiqué avant le MSG, consistant à remplacer systématiquement les pièces selon des échéances définies et intégrant des programmes de maintenance extrêmement exhaustifs.
- OC (On condition) : Inspections à intervalles réguliers afin d'optimiser les échanges de pièces dès constatation des défaillances.
- CM (Condition monitored) : On admet la défaillance de systèmes non vitaux, que l'on observe afin de maintenir la sécurité du vol, tout en minimisant les coûts de maintenance.

L'évolution de ces procédés s'est ainsi faite du « hard time » vers le « condition monitored » du fait de la méthodologie MSG-3. La figure suivante illustre cette transformation de la maintenance du fait de l'adoption de la norme MSG-3.

Fig. n°12 : évolution de la typologie des actions de maintenance entre 1964 et 1987 (Smith, 1993)

¹⁴ Transport Studies Group (2008) : Innovative Cooperative Actions of R&D in EUROCONTROL Programme CARE INO III Dynamic Cost Indexing-Technical Discussion Document 9.0 Aircraft maintenance – marginal delay cost University of Westminster London

Maintenance process	Component distribution		
	1964	1969	1987 (est.)
Hard-time* units	58%	31%	9%
On-condition [†] units	40%	37%	40%
Condition-monitored [‡] units	2%	32%	51%

* *Hard-time*—Process under which an item must be removed from service at or before a previously specified time.
[†] *On-condition*—Process having repetitive inspections or tests to determine the condition of units with regard to continued serviceability (corrective action is taken when required by item condition).
[‡] *Condition-monitored*—Process under which data on the whole population of specified items in service is analyzed to indicate whether some allocation of technical resources is required. Not a preventive maintenance process, CM allows failures to occur, and relies upon analysis of operating experience information to indicate the need for corrective action.
 NOTE: Definitions from *World Airlines Technical Operations Glossary*—March 1981.

L'étude de ces données montre donc une diminution significative des échanges systématiques de pièces avant une défaillance significative sur la sécurité aéronautique de celles-ci. Le MSG-3 semble permettre une meilleure efficacité à iso-efficacité. Nous cherchons maintenant, par une étude de cas double, à vérifier l'hypothèse émise selon laquelle cette norme permet l'atteinte d'une meilleure disponibilité des matériels en tant que catalyseur de processus de maintenance innovants.

3. Méthodologie

L'approche de cet article suit essentiellement une méthodologie abductive fondée sur un aller-retour entre théorie ancrée et études de cas, dont la méthode renvoie à l'utilisation de sources documentaires secondaires telles que décrites dans les études de cas au sens de Yin (2003).

Deux cas sont étudiés ici, ces derniers ont tous deux traits à l'armée de l'air américaine :

- 1) L'utilisation conjointe du lean management à une mise en place du MSG-3 dans le cas du C5 Galaxy (approche processuelle).
- 2) La mise en place conjointe du MSG-3 dans l'étude de scénarios d'optimisation dans la maintenance du F15 et KC 135 (approche spatiale).

L'utilisation d'une méthode abductive est ici particulièrement intéressante pour créer de la connaissance car elle "débuté par l'observation de certains faits et s'achève dans la supposition d'un principe général qui, s'il était vrai, expliquerait que les faits soient tels qu'ils sont (Pierce, 1958-1966). Plusieurs conclusions sont dès lors possibles dans l'inférence abductive" (Angué, 2009). Le sens de cette méthode est ici justifié par l'existence d'un phénomène assez ancien (la norme en aéronautique) et la nécessité d'un modèle afin de décrire les évolutions dudit phénomène.

L'utilisation d'études de cas double permet, au sens de Yin (2012), de mieux cerner une réalité dont les contours "flous" induisent une perspective narrative pour chaque cas et traduisent une évolution de ceux-ci et de leurs contours associés (Dumez, 2013). Le choix de deux études de cas portant des entités militaires américaines permet à la fois d'inscrire celles-ci dans un facteur culturel commun tout en dissociant leurs unités d'analyse du fait des systèmes étudiés : le cas de la maintenance lourde (principalement en "dépot") du C5 Galaxy et celui du F15 ainsi que du KC135 (maintenance lourde mais plus "agile"). Le croisement des résultats de ces deux études de cas permet ainsi de dégager des caractéristiques communes et applicables en termes d'implications managériales en termes d'utilisation de la norme en maintenance aéronautique.

De la même manière, au travers de ces deux cas, nous croisons une approche processuelle (MSG-3 conjoint au lean management) et une approche spatiale (cas du F15 et du KC135 avec la régionalisation des visites). Également, le cas afférent au C5 porte sur une mesure conjointe alors que le cas traitant du F15 et KC135 implique la mise en place du MSG-3 en tant qu'unique mesure, ces deux types de scénarios induisent également une différence de perspectives plus marquée entre les deux cas, en vue de trianguler les résultats

de l'étude de ces derniers. L'objectif est ici de réaliser une triangulation permettant de mieux cerner l'objet étudié au travers d'au moins deux points de vue différents (Caillaud et al., 2016).

Enfin, notre étude porte sur deux cas relativement anciens. Ce choix conscient permet d'observer des phénomènes accomplis et de considérer leurs contextes respectifs avec un plus grande objectivité. Par ailleurs, l'utilisation de ce type de cas s'inscrit totalement dans une démarche abductive dans laquelle la confirmation de notre hypothèse implique nécessairement un retour sur le terrain actuel en termes de recommandations managériales.

4. Etudes empiriques

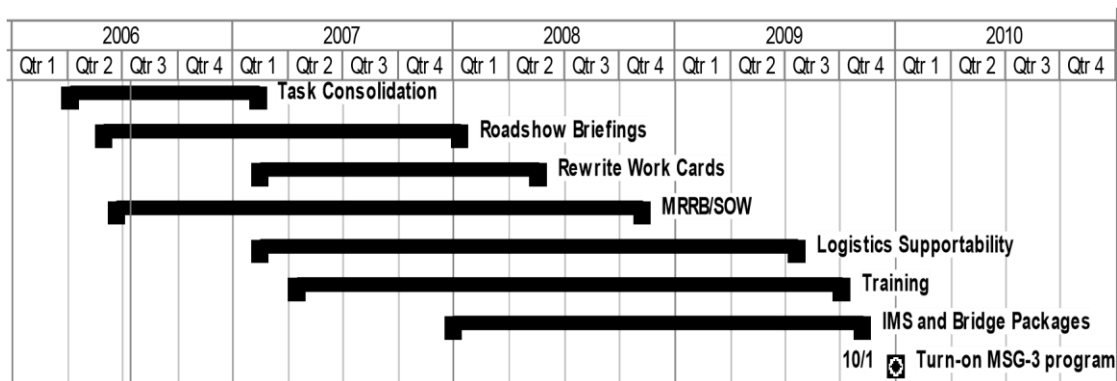
4.1 Cas N°1 : l'approche MSG-3 appliquée à la maintenance du C-5 Galaxy.

Ce cas illustre l'application conjointe des principes normatif du MSG-3 et du lean mangement à la maintenance du C-G GALAXY. Le Lockheed C- 5 Galaxy est l'un des plus grands avions jamais construits et dont 52 devraient être en service en 2017, sa conception étant contemporaine à celle du Boeing 747 (il est livré dans sa première unité opérationnelle en 1970¹⁵), il est un objet d'étude intéressant notamment du fait de sa durée de vie. L'application de plans de maintenance orientés MSG-3 est bien postérieure à la mise en service de l'avion et a donné lieu à de nombreuses études, ce qui rend ce cas particulièrement pertinent.

Appliqué au C-5, ces concepts de lean maintenance et d'application du MSG-3 ont rencontré un franc succès, notamment du fait que ceux-ci soient directement dérivés de ce qui se faisait déjà dans les compagnies aériennes civiles¹⁶. Ce constat fut également celui de la Royal Air Force britannique, le national audit office ayant rapporté en 2007 une économie de 1,3 milliards de livres, depuis l'application de processus lean en maintenance aéronautique¹⁷.

La mise en place du MSG-3 s'est réalisée sur une période de 4 ans entre 2006 et 2009, avec un passage définitif au MSG-3 en 2010. Cette chronologie est décrite dans la figure suivante.

Fig. n°13 : Mise en place du MSG-3 pour la maintenance du C-5 Galaxy (Van Patten, 2007)



L'analyse de ce cas montre que cette approche permet de voir passer le nombre de jours de maintenance de l'avion de 339 à 220 entre 2001 et 2004, soit une réduction de 35 pour cent des actions de maintenance. De la même manière, de notables progrès en termes d'efficacité ont pu être notés par la réduction drastique des retards de production.

¹⁵Site internet de l'armée de l'air américaine sur la maintenance des C5 GALAXY et l'implémentation du MSG3, <http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104492/c-5-abc-galaxy-c-5m-supergalaxy.aspx>, consulté le 01/02/2017.

¹⁶ MRO Yearbook (2011) : UBM Publications, p.83.

¹⁷ Ibid., p.84 et Davies et al. (2007).

Une approche MSG-3, qui est donc venue s'associer à une approche Lean en base (Base de Robin où sont effectués les grands chantiers¹⁸) entre 2001 et 2004, a permis d'observer le résultat dans la figure suivante.

Fig. n°14 : résultats d'une politique Lean sur la base de Robin, entre 2001 et 2004 (Barett et al., 2005)

	FY01	FY02	FY03	FY04*
Flow days (per aircraft)	340	280	268	229
Deliveries	17	17	23	12
Early	2	2	9	12
On-time	3	4	2	0
Late	12	11	12	0
Output per man/day	--	2.70	3.25	3.64

La mise en œuvre de la politique Lean vient donc raccourcir le temps de maintenance en chantier des aéronefs et ainsi permettre des livraisons plus fréquentes et en temps.

Concernant l'application du MSG-3 dans l'US Air force, chaque C-5 dispose d'un plan de maintenance de huit ans, ponctué par des chantiers d'entretien : mineurs ou majeurs. Les informations données par l'US Air Force sur l'implémentation de cette nouvelle méthodologie montrent un raccourcissement significatif de la durée des chantiers d'intervention, notamment mineurs¹⁹ : « *Prior to 2008, the average Westover Minor ISO²⁰ inspection took 40-plus days to accomplish,* » said Master Sgt. Peter Michaud, the 436th MXS Operation Location Alpha detachment chief. *"With the integration of the 436th MXS OLA, 439th MXS and the advent of the MSG-3 process, the ISO was reduced by 26 days down to an 18 day average ».*

L'érosion des budgets de défense concernant le C5 et le vieillissement de la flotte ont contraint l'US Air force à retirer du service 14 aéronefs en 2005 à des fins de cannibalisation (Heiman, 2009), dans le but d'améliorer la disponibilité technique opérationnelle des aéronefs restants²¹. Le MSG-3 devait, selon les attentes de l'Air Mobility Command, augmenter la fiabilité des aéronefs C-5 de vingt pour cent, et ce, en organisant une majeure partie des opérations les plus complexes lors des entretiens majeurs, tous les huit ans (Heiman, 2009).

Cet objectif est atteint. Le MSG-3 a permis à l'US Air Force d'optimiser l'utilisation de ses C-5 Galaxy, et ce faisant, d'accomplir deux objectifs majeurs : utiliser ceux-ci jusqu'en 2040 et augmenter l'utilisation opérationnelle de ces aéronefs pour une flotte se réduisant dans le temps (Keller, 2015, p.2). Si 7 millions de dollars ont été investis dans l'élaboration de nouveaux processus, notamment en standardisant ceux-ci. Ces investissements ont ainsi permis un gain d'efficacité constaté avec notamment environ 32 pour cent de réduction des coûts entre intervalles de maintenance pour les C5 (Van Patten, 2007).

Analyse du cas :

On voit donc ici que la mise en place du MSG-3 a été un projet sur le long terme. Il est également à noter que la partie concernant la réécriture des cartes de travail, afin de les rendre plus ergonomiques et augmenter l'efficacité des tâches de maintenance est l'un des aspects les plus significatifs mais également les plus prégnants dans la mise en place et les effets induits par le MSG-3. Dans le cadre d'une démarche lean, portée sur un découpage et une standardisation des processus, le MSG-3 permet ainsi une grande complémentarité avec ce type de maintenance.

¹⁸ Un autre fait intéressant, et très actuel, est la récente étude menée en France sur les temps de réalisation des grandes visites sur les hélicoptères de la défense. On note un problème très similaire au niveau des entités devant réaliser les grands chantiers. Voir : Avis fait au nom de la commission de la défense nationale et des forces armées sur le projet de loi de finances pour 2017 (n°4061) Tome IV Défense et préparation et emploi des forces terrestres. Par le député F. Lamy. <http://www.assemblee-nationale.fr/14/budget/plf2017/a4130tIV.asp> (consulté le 02/02/2017).

¹⁹ Voir site de l'US Air Force, article « Keeping the C5 fleet in check » <http://www.af.mil/News/ArticleDisplay/tabid/223/Article/633228/keeping-the-c-5-fleet-in-check.aspx>, consulté le 01/02/2017.

²⁰ ISO : Isochronal, l'implémentation d'inspections isochrones a permis de rallonger le temps entre inspections et donc de diminuer le nombre de jours de maintenance par aéronef.

²¹ On mesure la disponibilité technique opérationnelle en divisant le nombre d'aéronefs disponibles pour le service, par le parc en dotation (parc en exploitation et parc en chantier à l'extérieur).

Le présent cas confirme ainsi que la norme MSG-3, inscrite dans une démarche d'optimisation des processus, peut être considérée comme un catalyseur de l'utilisation du lean management dans le cadre de la maintenance aéronautique sur le cas considéré.

Le choix de la seule mise en place du MSG-3 permet-il une amélioration de l'efficacité de la maintenance ? C'est ce qui est étudié dans le cas suivant.

4.2 Cas N°2 : le MSG-3 appliqué au F15 Eagle et au KC 135 Stratotanker

A l'instar du C-5 Galaxy, et de nombreux autres avions militaires américains, le F15 Eagle -avion beaucoup plus jeune que le C-5 en termes de mise en service opérationnelle mais très ancien à l'échelle des avions actuellement en service dans les forces armées américaines²²- a également subi une reconfiguration de son plan d'entretien selon une méthodologie MSG-3. Le Boeing KC 135 Stratotanker est quant à lui un avion très ancien, dont la mise en place remonte à 1956. La physionomie de cet avion place ce dernier entre le C-5 Galaxy (avion-cargo lourd) et le F15 (chasseur avec une empreinte technico-logistique élevée). Nous étudions donc maintenant les effets de la mise en place d'une norme, non comme un catalyseur, mais en tant que mesure propre. Également, à l'inverse de la mise en place du lean évoquée dans le cas précédent, la mesure alternative proposée consiste en une mesure spatiale (régionalisation des entretiens lourds).

D'un point de vue contextuel, le F15 est un système dont la maintenance requiert des visites extrêmement poussées pour une consommation de potentiel correspondant aux besoins de l'armée de l'air américaine. La question se pose ainsi, dans ce cas, de réduire le nombre d'heures de maintenance nécessaires pour la production d'un nombre d'heures de vol donné. En effet, pour l'US Air Force, il s'agit -au moment de l'évaluation des projets mentionnés ci-après- de réduire le nombre d'heures nécessaires à la maintenance après vol (Hourly Post Flight Inspection) ainsi que lors des entretiens périodiques. Avant la mise en place du MSG-3, il fallait 1001 heures de maintenance (un cycle d'entretien complet) pour produire 1200 heures de vol opérationnelles (Van Patten, 2007, p.13).

Le KC 135 montre, par sa grande durée de services au sein des forces armées américaines, un vieillissement prononcé et ainsi une hausse notable des coûts de maintenance. Le recul technique affiché sur cet avion a permis à l'US Air Force de discriminer les coûts en termes de localisation des pannes et du vieillissement sur les différents ensembles de l'avion.

Afin d'optimiser la disponibilité technique opérationnelle de la flotte F15, la solution portée sur le MSG-3 a finalement été retenue. En effet, la facilité d'utilisation de cette méthodologie, permettant d'évaluer et de quantifier les probabilités de défaillance de chaque avion a permis d'optimiser la maintenance, et ce, bien mieux que dans le cadre de réformes structurelles (Van Patten, 2007, p.22). Dans le cas du F15, on estime alors le coût d'une analyse MSG-3 préliminaire à environ 10 millions de dollars et une réduction des coûts de 47,3 millions de dollars par suite de l'implémentation du MSG-3 (Van Patten, 2007, p.26). D'un point de vue plus centré sur l'opérationnel, le MSG-3 permet d'obtenir un supplément équivalent de 17 avions pour la flotte de F15, ce qui cadre avec l'aspect fonctionnel décrit par le MSG-3 (Van Patten, 2007, p.28).

Lors de la reconfiguration de l'entretien des F15, trois options co-existent alors :

- 1) Ne rien changer et rester ainsi en endurant une réduction de personnel (« *stay the course* »), cette solution induisant une chute de la disponibilité technique opérationnelle car aucune mesure n'est prise sur le plan organisationnel comme fonctionnel.
- 2) Régionaliser les inspections en les réalisant directement là où les avions sont basés : il s'agit ici d'un arbitrage entre prise en main localisée (avec une empreinte technique et logistique disséminée) et maintenance lourde centrale des avions (rationalisation de l'empreinte technique et logistique). Il s'agit d'une mesure d'optimisation spatiale de la maintenance.
- 3) Implanter le MSG-3.

La figure suivante résume les bénéfices de ces trois options.

²² La première mise en service opérationnelle du F15 a eu lieu en 1974.

Figure n°15 : Le MSG-3, la meilleure des trois options envisagées (Van Patten, 2007, p.29)

COMPARISON OF THE THREE OPTIONS						
	Option 1 "Stay the Course"		Option 2 "Regionalize Inspections"		Option 3 "Hybrid MSG-3 Solution"	
	F-15	KC-135	F-15	KC-135	F-15	KC-135
Aircraft Availability (AA)	Decreases 1,177 days* (Equiv of 4 less F-15s/yr; -0.7% AA)	Decreases 4,240 days* (Equiv of 12 less KC-135s/yr; -2.2% AA)	Increases 3,374 days* (Equiv of 9 more F-15s/yr; + 1.9% AA)	Increases 4,770 days* (Equiv of 13 more KC-135s/yr; + 2.7% AA)	Increases 6,146 days* (Equiv of 17 more F-15s/yr; + 3.5% AA)	Increases 5,167 days* (Equiv of 14 more KC-135s/yr; + 2.9% AA)
Operating Cost	No Additional Savings Above \$23.4M FYDP Manpower Savings for all Air Force Fleets		Additional Investment of: \$1.93M in FYDP \$1.33M in FYDP		Additional Savings of: \$37.3M*** in FYDP; \$9.46M/FY Thereafter \$31.4M*** in FYDP; \$8.28M/FY Thereafter	
Unit Control	Retained in Status Quo Approach		Significantly Decreased in Regionalization Approach		Retained in MSG-3 Approach	

* Increases/decreases are calculated across the entire fleet of 482 F-15 and 530 KC-135 aircraft.
 ** Accounts for assumed 25% non-mission capable status during light and medium inspections.
 *** FYDP savings deducts the one-time \$10M investment for the MSG-3 study; annual savings thereafter would be based on five-year savings of \$47.3M (F-15) and \$41.4M (KC-135).

Dans ce cas, le MSG-3 apparaît comme la solution ayant permis d'augmenter la disponibilité technique et donc fonctionnelle des flottes F15 et KC 135. Ces résultats semblent obtenus en modifiant les processus de maintenance et d'entretien d'après une analyse rigoureuse et qualitative des risques de défaillances (Martin, 2006).

Analyse du cas :

Ce cas montre que l'adoption de la norme seule, peut permettre une réduction des coûts par une rationalisation des processus de maintenance. Une critique à ces résultats réside dans les coûts afférents à la mise en place et à la mise en conformité à la norme : l'évaluation du coût total de possession pour chaque flotte semble ici très incomplète, malgré les résultats en termes de disponibilité et les économies qui semblent pouvoir être réalisées par l'adoption du MSG-3. Ce cas permet néanmoins de confirmer l'hypothèse selon laquelle la norme peut permettre une meilleure efficacité des processus.

5. Discussion, portée et limite

Les défis techniques portés par des systèmes dont le maintien en condition est de plus en ardu du fait d'une technicité croissante conduisent nécessairement à poser la question des leviers innovants et efficaces pour assurer la disponibilité des matériels. L'utilisation de la norme, telle qu'ici avec le MSG-3, semble être un de ces leviers. Les résultats de cette étude montrent que si la norme est un levier pouvant produire des effets particulièrement significatifs, c'est la combinaison de leviers organisationnels (managériaux avec les approches Lean ou en matière d'optimisation organisationnelle) avec l'implémentation de la norme MSG3 qui permettent d'optimiser les résultats.

Cette étude, bien que se basant sur le cas américain, peut trouver de nombreux champs d'applications dans la maintenance, même non aéronautique. Des liens puissants existent ainsi entre les implications théoriques sur les déterminants et les effets des normes et les implications managériales que celles-ci peuvent exercer sur le terrain. La théorie peut ainsi intégrer la notion de combinaison entre la norme et les pratiques managériales dans le cadre d'activités de maintenant et, au sens plus large, de production à haute valeur ajoutée.

Au vu de ces deux études de cas, plusieurs éléments peuvent être analysés. L'implémentation de la méthodologie MSG-3 a permis de rationaliser les processus de maintenance et ce, dans les deux cas. Intéressant est de voir comment une approche en termes de lean management appliqué à la maintenance des gros porteurs C-5 Galaxy a permis de réduire significativement les délais de prise en main de ces aéronefs

lors des visites périodiques. La solution apportée par le MSG-3 ayant permis de rallonger les échéances entre visites et de rationaliser ces dernières en centrant la maintenance sur la fiabilité.

Dans le deuxième exemple étudié, si la régionalisation des visites périodiques semble également être une solution profitable car augmentant la disponibilité technique, le MSG-3 réorganise quant à lui les pratiques dans les fondements de leur exécution.

La question du « retour sur investissement opérationnel » est relève d'un intérêt particulier : on parle ici de l'utilisation accrue des aéronefs par l'utilisateur du fait de l'atteinte d'une meilleure disponibilité. L'étude sur le F15 montre par exemple un accroissement d'un équivalent de 17 chasseurs, avec l'adoption du MSG-3, optimisant donc le potentiel de combat de cette flotte. Cette même considération pourrait être observée avec le C5-Galaxy, mais se mesurerait là par une capacité d'aérotransport améliorée permettant des gains en terme capacitaires (le C-5 dispose d'une bien plus grande capacité de transport que le C-17) mais également en termes économiques : disposer de capacité propres d'aérotransport permet de limiter les recours aux externalisations, utilisées par de nombreux pays de l'OTAN pour pallier au manque d'avions de transport tactiques disposant d'une allonge et d'une capacité de transport suffisante²³.

Notre étude de cas permet ainsi de répondre à la question initiale par l'affirmative : les normes permettent aux processus de maintenance d'être plus efficaces à la lueur des cas étudiés. La norme est un levier d'efficacité car celle-ci permet une utilisation plus efficace de la connaissance au sein d'une organisation et dans une logique inter organisationnelle. Il est néanmoins nécessaire de borner cette affirmation en prenant en compte trois perspectives de recherches sur ce sujet :

- 1) Les coûts de mise en place (et notamment de contrôle de conformité des pratiques) d'une norme doivent être explorés afin de les intégrer de manière plus exhaustive dans les coûts de possession d'un actif.
- 2) L'aspect concurrentiel afférent à la « guerre des normes » doit également être pris en compte : l'édiction de normes obéit à une logique d'intérêts parfois divergents entre les acteurs. Comment prendre en compte le fait qu'une norme puisse d'avantage profiter à un agent qu'à un autre ?
- 3) La compliance des agents est également un facteur à mieux étudier car l'impact d'une norme dépend de la manière dont les agents concernés la mettent en place et en application.

6. Conclusion

L'enjeu de la normalisation continue d'être une thématique porteuse de nombreuses interrogations et constitue l'un des pans de la vision stratégique que se doivent d'adopter toutes les organisations désireuses d'améliorer leurs résultats par une meilleure appréhension de leur environnement par les agents, notion renvoyant ainsi aux travaux de Simon. Dans le cas de l'aéronautique, et de l'armée de l'air américaine, l'adoption du MSG-3 semble avoir montré des résultats très significatifs et permis une maximisation de l'utilisation de cet outil opérationnel. Nous avons également montré des limites dans l'études de ces deux cas, celles-ci ont principalement trait à la mise en place même de la norme et à la nécessité de complètement en évaluer les coûts. Au sein d'une organisation vue comme un « construit social » par Crozier et al. (1977), les agents sont les acteurs de leurs pratiques et de l'utilisation des normes qui y sont associées. Les normes ATA et le MSG-3 sont essentiellement le fruit d'acteurs américains et la perspective stratégique de l'élaboration des normes a précédemment été posée : quelles sont les perspectives pour l'Europe dans le cadre d'un affaiblissement de la position des constructeurs et opérateurs américains. Du fait de l'affaiblissement de certains de ces acteurs au profit d'autres en Europe ou dans d'autres aires géographiques (Chine), comment étudier l'évolution de la norme dans une multipolarisation constante du monde? Cette question ouvre vers l'étude de nombreuses possibilités de redistribution des rôles sur la scène internationale et ne se limite pas au secteur aéronautique.

²³ La France notamment, fait partie du contrat SALIS (Strategic Airlift Interim Solution) et fait appel à des transporteurs privés comme la compagnie ukrainienne Volga Dniepr, basée à Leipzig et disposant d'Antonov AN-124, l'avion ayant en son temps « détrôné » le C-5 Galaxy comme ayant la plus grande capacité de transport au monde. Voir : http://www.nato.int/cps/en/natolive/topics_50106.htm (consulté le 02/02/2017)

Bibliographie

- Ackert, S. P. (2010). Basics of aircraft maintenance programs for financiers. *Evaluation & Insights of Commercial Aircraft Maintenance Programs*//10.1.
- Almeida, P., Kogut, B. (1999). Localization of knowledge and the mobility of engineers in regional networks. *Management science*, 45(7), 905-917.
- Anderson, R. W. (1999). *Safety enhancements available by converting MSG-2 aircraft maintenance programs to MSG-3* (No. 1999-01-1440). SAE Technical Paper.
- Angué, K. (2009). Rôle et place de l'abduction dans la création de connaissances et dans la méthode scientifique peircienne. *Recherches qualitatives*, 28(2), 65-94.
- Anthony, R. N., Planning, N. (1965). *Control Systems: A Framework for Analysis*. Boston: Harvard University, Graduate School of Business Administration, Division of Research.
- Barrett, B., Fraile, L. (2005) : Lean at the C-5 galaxy depot: essential elements of success.
- Capera, D., Bernon, C., & Glize, P. (2006). Étude d'un processus d'allocation coopératif de ressources entre agents pour la gestion de production. *7e Congrès de la ROADEF*, 369-383.
- Chenevriér, P. (2001) : les programmes de maintenance aéronautique : méthodologie de création et cadre réglementaire, la jaune et la rouge – revue de l'amicale des anciens de l'école polytechnique, pp.16-23.
- Commune, Q. (2020). *Définition d'une théorie de l'externalisation dans les armées: le cas de l'Aviation Légère de l'Armée de Terre* (Doctoral dissertation, Université de Strasbourg).
- Cochoy, F. (2000). De l'"AFNOR" à "NF", ou la progressive marchandisation de la normalisation industrielle.
- Crozier, M., Friedberg, E. (1977). L'acteur et le système.
- Davies, S., Coole, T., Osypiw, D. (2007). The relevance of lean manufacturing principles in diverse applications and digital enterprises. In *digital enterprise technology* (pp. 275-282). Springer, Boston, MA.
- Deschamps, F. (2014). Détermination d'intervalles de maintenance pour systèmes critiques: contributions. *Congrès Lambda Mu 19 de Maîtrise des Risques et Sécurité de Fonctionnement, Dijon, 21-23 Octobre 2014*.
- Dumez, H. (2013). Qu'est-ce qu'un cas, et que peut-on attendre d'une étude de cas ? *Le libellio d'AEGIS*, 9(2), 13-26.
- Ellram, L. M. (2002). Total cost of ownership. In *Handbuch Industrielles Beschaffungsmanagement* (pp. 659-671). Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Glade, M. (2005). *Modélisation des coûts de cycle de vie: prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité: Application à l'aéronautique* (Doctoral dissertation, Ecully, Ecole centrale de Lyon).
- Grundstein, M. (2000). From capitalizing on company knowledge to knowledge management. *Knowledge management, classic and contemporary works*, 12, 261-287.
- Heiman, T. K. (2009). *Simulation Modeling of the C-5 Galaxy High Velocity Regionalized Isochronal (HVRISO) Inspection Concept* (No. AFIT/GLM/ENS/09-6). Air force inst of tech Wright-Patterson AFB graduate school of engineering and management.
- Hinsch, M. (2011). MSG-3—Eine Einführung in die Bestimmung grundlegender Instandhaltungsmaßnahmen bei Verkehrsflugzeugen.
- Keller, C. J. (2015). Analysis of Pacific Enroute Structure in Support of C-5M Super Galaxy (No. AFIT-ENS-GRP-15-J-011). Air force institute of technology wright-patterson afb oh graduate school of engineering and management.
- Kodama, M. (2019). Boundaries knowledge (knowing)—A source of business innovation. *Knowledge and Process Management*, 26(3), 210-228.
- Martin, M. H. (2006). *Implementing reliability-centered maintenance analysis in a revised preventive maintenance program for the F-15* (No. AFIT/GLM/ENS/06-08). Air force institute of technology, Wright-Patterson AFB school of engineering and management.
- Mayer, G. (2010). Transforming ATA iSpec 2200 to S1000D. Presentation. 05 2010. In URL http://www.ataebiz.org/forum/2010_ata_e-biz_forum/Mayer_Transforming2200toS1000D.pdf.—Abgerufen am (Vol. 1).
- Nonaka, I., Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford university press.
- Nye Jr, J. S. (2008). Public diplomacy and soft power. *The annals of the American academy of political and social science*, 616(1), 94-109.
- Peirce, C. S. (1958). *Collected Papers: Science and philosophy and Reviews, correspondence, and bibliography* (Vol. 7). Belknap Press of Harvard University Press.
- Pellicer, E., Correa, C. L., Yepes, V., & Alarcón, L. F. (2012). Organizational improvement through standardization of the innovation process in construction firms. *Engineering Management Journal*, 24(2), 40-53.

Commine Q., Aboiron J., 2021, Optimiser la production par l'apport des normes : étude rétrospective du cas du MSG-3 dans la maintenance de l'armée de l'air américaine, *Revue Internationale de Management et de Stratégie*, <http://www.revue-rms.fr/>.

- Picq, T. (2005). Le développement de l'intelligence collective: Aspects humains et organisationnels. *research supervisor certification jury, Grenoble, France*.
- Raddam, C., Boumane, A., & Kamach, O. (2015, December). Etat de l'art: Optimisation de la maintenance selon une approche lean.
- Revel, C. (2013). Développer une influence normative internationale stratégique pour la France. *Rapport remis officiellement à Nicole Bricq, ministre du commerce extérieur, La Documentation française*.
- Ryan, R. (2009). Les langues contrôlées, une valeur ajoutée pour le traducteur. *Traduire. Revue française de la traduction*, (220), 57-67.
- Simon, H. A. (1979). Rational decision making in business organizations. *The American economic review*, 69(4), 493-513.
- Smith, A. M. (1993). Reliability-centered maintenance.
- Swift, S. (2008). A Collective Approach to Aircraft Structural Maintenance Programs. In *Proceedings of the International Air Safety Seminar, Honolulu, Flight Safety Foundation, USA*.
- Vandersall, S., Chief Engineer (C-5), 730th Aircraft Sustainment Group (AFMC). Briefing. Subject: Maintenance Steering Group 3 (MSG-3), 17 January 2006. In Van Patten (2007).
- Van Patten, D. A. (2007). *Transforming the aircraft inspection process*. Air war coll maxwell afb.
- Wouters, M., Anderson, J. C., & Wynstra, F. (2005). The adoption of total cost of ownership for sourcing decisions—a structural equations analysis. *Accounting, organizations and society*, 30(2), 167-191.
- Yin, R. K. (2003). Designing case studies. *Qualitative Research Methods*, 359-386.
- Yin, R. K. (2012). Case study methods.
- Zwinglestein, G. (1996). La maintenance basée sur la fiabilité. *Hermès*.

Webographie et Rapports

- AFNOR - NF X 60-010 (1994) <https://www.boutique.afnor.org/norme/x60-010/maintenance-concepts-et-definitions-des-activites-de-maintenance/article/863701/fa039463>
- BOEING QTR_04 06 Quarterly Publication-Maintenance Program Enhancement https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_06/AERO_Q406.pdf
- Cook A.-J. & Tanner G., Transport Studies Group (2008) : Innovative Cooperative Actions of R&D in EUROCONTROL Programme CARE INO III Dynamic Cost Indexing-Technical Discussion Document 9.0 Aircraft maintenance – marginal delay cost, University of Westminster London
- Directives ISO/CEI, Partie 2, Règles de structure et de rédaction des Normes internationales. Cinquième édition 2004. <https://isotc.iso.org/livelink/livelink/Open/4230454>
- Maintenance Review Board Report (MRBR) Boeing Document D6-82981-MRBR- révision de mai 2007
- NATO, (2017) https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_50107.htm
- US Air Force, (2006) - <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104492/c-5-abc-galaxy-c-5m-super-galaxy/>
- US Air Force, Senior Airman William Johnson, (2015) - <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/633228/keeping-the-c-5-fleet-in-check/>