

CRÉDIT DE MAINTENANCE, DE LA SURVEILLANCE DES PIÈCES MÉCANIQUES D'UN AÉRONEF À DE LA MAINTENANCE DYNAMIQUE

P.L. Maisonneuve^{1,2}, P. Lyonnet², M. Glade¹, S. Ghelam¹, J.P. Derain¹

¹ Eurocopter TAST, Maintenance & diagnostic research Aéroport Marseille Provence, 13725 Marignane - France
Pierre-Loic.Maisonneuve@eurocopter.com , Mathieu.Glade@eurocopter.com

Samir.Ghelam@eurocopter.com, Jean-Pierre.Derain@eurocopter.com

² Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, Ecole Nationale d'Ingénieur de Saint-Etienne
58, Rue Jean Parot 42000 St ETIENNE - France

Lyonnet@enise.fr

ABSTRACT

In a high competitive market, maintenance costs reduction is a key driver for customer satisfaction. The objective of maintenance credit approach is to extend maintenance intervals (Service Life Limit (SSL) and Time Between Overhaul (TBO) of mechanical gear boxes components. This maintenance intervals optimisation is enabled by taking into account the actual usage of the aircraft which assessment could be performed by the integration of a new on-board health management segment. Health and Use Monitoring System (HUMS) currently developed on the aircraft, could be a starting point for this on board health management segment. It integrates various sensors which allow the control of degradation modes for mechanical assemblies. These various measurements are processed to produce a real time health assessment and thus to be able to anticipate and detect the failures. The implementation of such a maintenance system allows mastering the risk of failures during flight, to defer maintenance tasks, to decrease maintenance costs (DMC) and to increase aircraft availability.

RÉSUMÉ

Dans un marché de plus en plus compétitif, la maintenance des aéronefs doit être la moins coûteuse possible et devient un critère de satisfaction client. Les crédits de maintenance, ont pour objectif d'augmenter les périodicités de maintenance en augmentant les potentiels de durée de vie (Service Life Limite ou SLL) et les intervalles de dépose (Time Between Overhaul ou TBO) des pièces mécaniques. Cette optimisation des échéances de maintenance est rendue possible par la prise en compte de l'usage réel de la machine grâce à l'utilisation en maintenance des moyens de surveillance embarqués. Le Health and Usage Monitoring System (HUMS) développé sur les

aéronefs, intègre différents capteurs qui rendent possible la maîtrise des modes de dégradation des ensembles mécaniques. Ces différentes mesures permettent de connaître leur état de santé en temps réel et ainsi de pouvoir anticiper et détecter les pannes. La mise en place d'un tel système de maintenance permet de maîtriser les risques de pannes techniques en vol, de différer les tâches de maintenance, de diminuer les coûts de maintenance (Direct Maintenance Cost ou DMC) et d'augmenter la disponibilité pour le client.

1. INTRODUCTION

La mesure et le suivi de l'état de santé des éléments d'un aéronef permettent de mettre en place la notion de crédit de maintenance. Elle consiste à moduler les durées de vie et les échéances à l'aide d'une infrastructure de surveillance et d'interprétation intégrée à l'appareil. Ces mesures seraient donc des nouvelles entrées pour le Programme Recommandé d'Entretien (PRE) qui devient modulable et dynamique, s'adaptant à l'utilisation réelle de l'appareil et aux conditions intrinsèques et extrinsèques qu'il subit. Le pronostic de pannes influence alors de façon significative les coûts de maintenance en augmentant la durée de vie des pièces surveillées.

La maîtrise de la connaissance de l'état de santé des équipements embarqués, et l'anticipation de pannes permet aussi de minimiser les risques d'accident. La mise en place d'un système de surveillance permet de connaître et de suivre la dégradation des éléments mécaniques de l'appareil et donc de pouvoir planifier au mieux les tâches de maintenance. Il permet également d'augmenter la disponibilité de l'appareil, en anticipant les pannes et en autorisant le vol dans le cas où les échéances de base calculées lors de la conception sont dépassées. La gestion de stock peut s'appuyer aussi sur le crédit de maintenance en ne possédant plus un stock de pièce, mais dans le cas où cela est possible, de la commander lorsque la panne est prédite.

Ainsi, l'article présentera tout d'abord le contexte ainsi que la problématique de l'étude, ensuite la maintenance dynamique basée sur le crédit de maintenance sera décrite. Enfin, une application sur un élément de l'aéronef sera présentée pour conclure sur la maintenance dynamique dite « on-condition ».

2. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE

2.1 Contexte

Le concept de crédit de maintenance s'intègre dans un schéma de maintenance (figure 1) bien défini. En effet, chaque aéronef possède son propre Programme Recommandé d'Entretien (PRE). Le PRE contient toutes les informations nécessaires pour réaliser et planifier la maintenance de l'appareil. Le planning de maintenance d'un aéronef s'appuie aujourd'hui sur des échéances figées, définies par des calculs réalisés dans le cadre de spectres d'utilisation représentatif d'une utilisation sévère théorique. Ces périodicités sont fixées lors de la conception

de l'appareil et ne varient pas durant tout son cycle de vie. Elles ne tiennent donc pas compte de l'usage réel de l'appareil (conditions environnementales, profil de mission, ...).

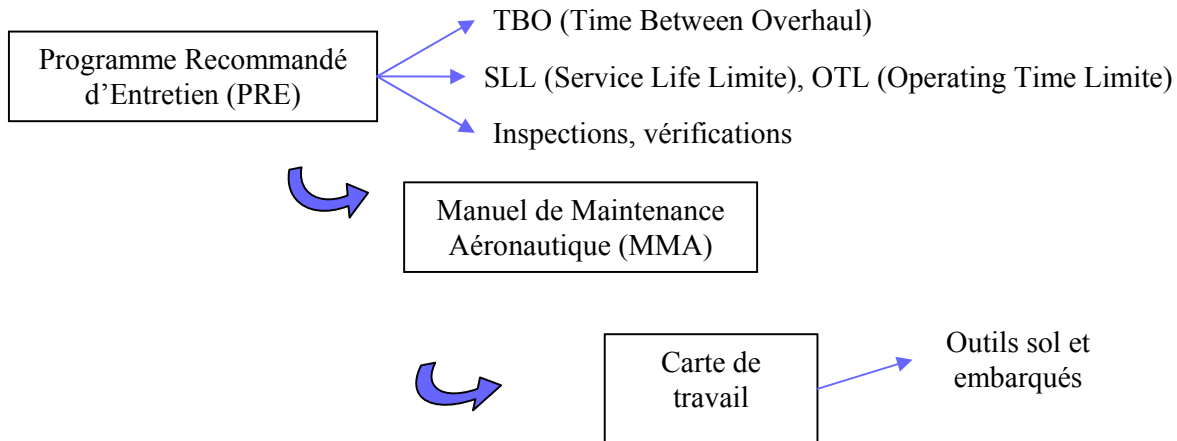


Figure 1. Architecture de la maintenance actuelle

Cette documentation est aussi composée de cartes de travail indiquant les protocoles à suivre pour réaliser une maintenance correcte de l'appareil.

2.2 Problématique

La problématique de l'étude vise à utiliser le système de surveillance de l'aéronef afin de réaliser les tâches de maintenance au temps optimum (figure 2). Pour ce faire, il faut en permanence maîtriser les modes de dégradation des pièces mécaniques afin de déterminer les actions de maintenance à réaliser. Dans un premier temps, ce système de surveillance permet l'augmentation des échéances avec une « mise à jour » des calculs réalisés lors de la conception.

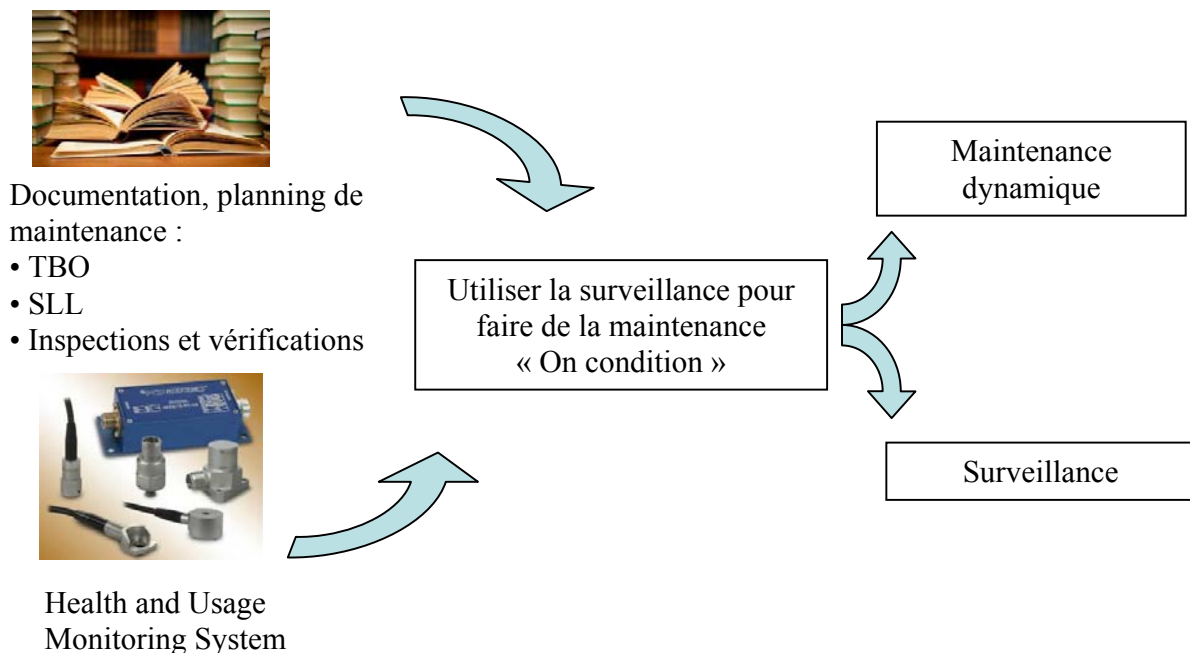


Figure 2. Système de surveillance

Dans un second temps, ce système permettrait de supprimer les TBO. La maintenance devient donc individuelle et personnalisée en fonction de l'utilisation réelle de la machine.

3. CRÉDIT DE MAINTENANCE

3.1 L'outil du crédit de maintenance, le HUMS

Le crédit de maintenance s'appuie sur un outil global de surveillance permettant une connaissance approfondie et fiable de la santé de l'appareil. Le point de départ de la construction de cet organe de surveillance est le HUMS (Health and Usage Monitoring System). Le HUMS conçu par Eurocopter depuis plus de 20 ans collecte et enregistre une grande quantité de paramètres d'usage et de santé mais n'a jamais été utilisé comme point d'entrée pour la planification de la maintenance. Le HUMS a donc été notre point de départ pour la conception de l'architecture de surveillance. D'autres paramètres pertinents à surveiller ont été ajoutés à la liste des paramètres HUMS. L'organe de surveillance de la fonction crédit de maintenance consiste en effet à surveiller en permanence la santé des composants en déterminant le niveau de détérioration des éléments mécaniques critiques (moteur, transmission). Ceci à l'aide d'une connaissance exacte de l'utilisation réelle de l'hélicoptère (régime moteur, spectre de vol, dépassement de limitations...) et d'une maîtrise des modes de dégradation des éléments de l'hélicoptère. Ce qui permet de connaître les échéances effectives et d'améliorer la sécurité en vol par la détection au plus tôt d'un dommage d'élément critique (avant panne).

3.2 Les paramètres enregistrés

3.2.1 Architecture

Les paramètres surveillés (figure 3) par le système embarqué de surveillance sont classés en trois catégories:

Les paramètres de santé : ils permettent une détection d'un état anormal de fonctionnement. Le principal paramètre est le spectre vibratoire des pièces mécaniques. Il est en général calibré par des seuils d'alarme, des indicateurs de santé, calculés en continu, qui indiquent un niveau de détérioration de l'élément surveillé.

Les paramètres d'usage : ils représentent l'environnement d'utilisation de l'appareil ou de la pièce surveillée. Ils regroupent les températures, les pressions mais aussi les efforts, les couples, ils permettent de connaître un historique des contraintes exercées sur les éléments de l'hélicoptère. Ils sont aussi issus d'analyses d'additifs comme l'huile, la graisse, les gaz d'échappement, etc. qui permettent de détecter un état de dégradation.

Les paramètres de vol : ils sont issus d'un enregistreur de vol qui sauvegarde les principaux paramètres extérieurs, climatiques, d'assiette, de position ... permettant de connaître le spectre de vol de l'appareil.

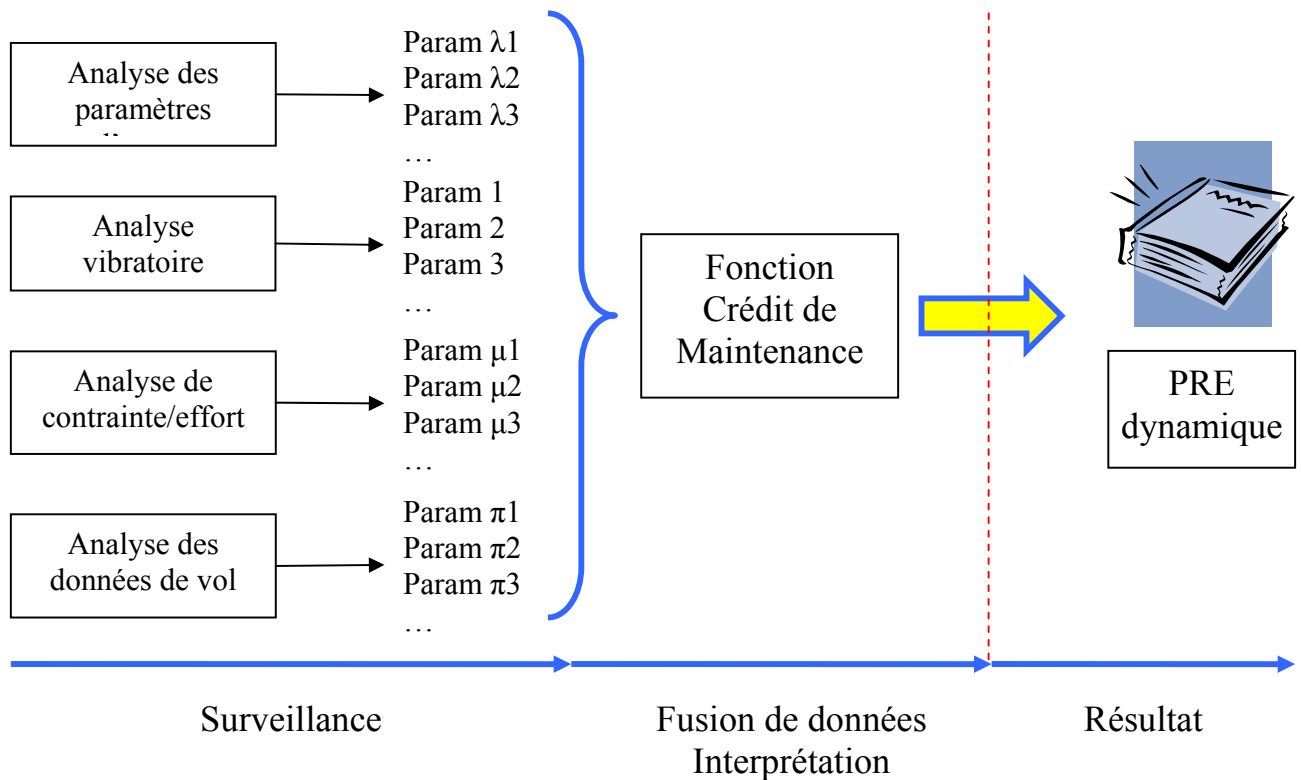


Figure 3. Fonction crédit de maintenance

3.2.2 Traitement des données brutes

La première phase de traitement des données brutes a pour rôle de mettre en évidence des indicateurs représentatifs de l'état de santé de la pièce en fonction du type de données enregistrées. Pour chaque analyse, des algorithmes de classification de données sont mis en place afin de relever les paramètres influant l'état de santé des éléments surveillés, par exemple pour :

- *les données vibratoires* afin de détecter un état anormal de fonctionnement. Ceci à l'aide de l'utilisation de seuils dynamiques, capable de générer des alarmes en cas de dépassement [1].
- *les paramètres de vol*, ils permettent de retracer entièrement le spectre de vol réalisé par l'appareil. Il est donc possible de comparer le spectre de vol réel au spectre de vol utilisé lors de la phase de conception. Cette comparaison permet de « mettre à jour » le calcul des échéances et dans certains cas de les repousser.

- *les analyses d'usage* permettent de maîtriser les modes de dégradation des pièces mécaniques. Par exemple, l'analyse d'huile permet de maîtriser les différents modes de dégradation comme le fretting, l'usure des cannelures, roulements, etc. Elle est composée d'une surveillance des paramètres chimiques de l'huile qui permettent de quantifier le pouvoir lubrifiant de l'huile. Elle est aussi couplée à une spectrographie de l'huile qui quantifie les débris présent dans l'huile. Les résultats ainsi trouvés sont utilisés dans des modèles d'usure pour trouver un taux d'endommagement des éléments mécaniques. [2]

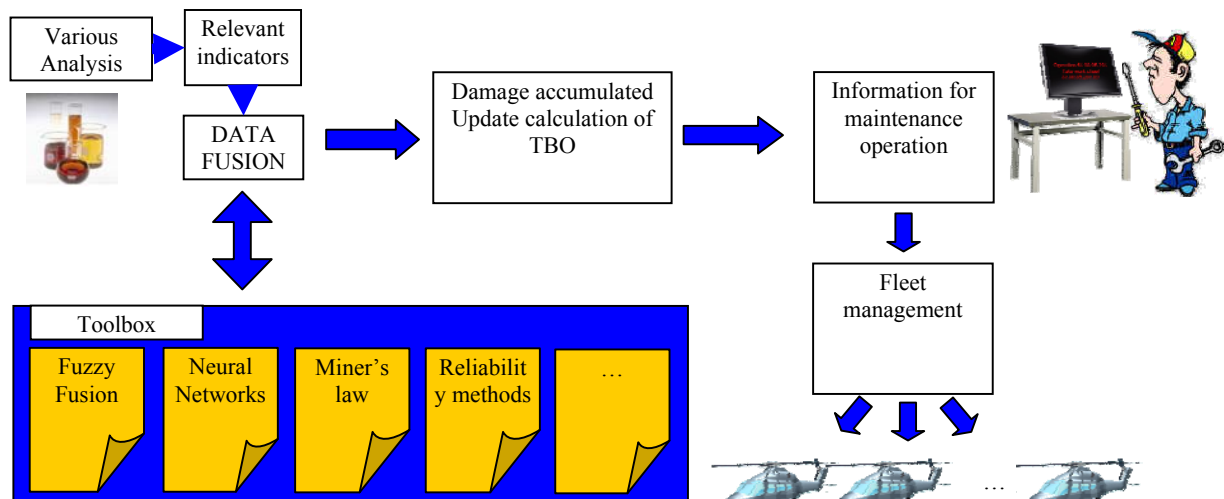
Ces indicateurs sont ensuite traités par une fonction dite crédit de maintenance, afin de pouvoir ressortir une information pour les opérateurs de maintenance.

3.3 La fonction crédit de maintenance

La prise de décision, le calcul d'une nouvelle échéance passe par une deuxième phase de fusion des données (figure 4). Les indicateurs générés dans les différentes analyses sont corrélés entre eux dans le but de trouver leurs interactions. Les indicateurs ou paramètres influant, sont traités par des outils, comme des réseaux de neurones ou encore des modèles de calcul de fiabilité résiduelles, permettant cette interprétation. Le résultat de la fonction crédit de maintenance est une estimation de taux de dommage afin de recalculer en temps réel les échéances (TBO, SLL,...) du Programme Recommandé d'Entretien.

Figure 4. Fonction crédit de maintenance, fusion de données

Les moyens de calcul :



Les indicateurs calculés lors de la première phase de traitement des données brutes sont utilisés comme entrée pour certains modèles de calcul (actuellement en cours de développement) testés sur des cas réels, tels que :

- *Les réseaux de neurone* qui peuvent modéliser un système et calculé une sortie en fonction des entrées à un certain niveau d'apprentissage. Ils sont déjà opérationnels et améliorés par la logique floue. Cependant, cet outil de calcul est confronté à un manque de retour d'expérience qui dégrade les résultats calculés. De plus, les réseaux de neurones fonctionnent comme une « boîte noire » [3] et ne permettent pas la compréhension du phénomène modélisé. Ils rendent difficile la validation du résultat [4] [5]. De plus, la modification du processus de planification doit obéir à des contraintes très fortes en termes de certification et de navigabilité. Les réseaux de neurones n'atteignent pas à ce jour le niveau requis pour une phase de qualification.
- *La loi linéaire d'estimation de dommages de M. Miner* permet d'associer des dommages élémentaires D_i résultant d'une sollicitation externe [6]. Ces dommages sont calculés lors des premières analyses des données brutes (indicateurs). Le terme « linéaire » est utilisé du fait que les dégradations élémentaires s'additionnent et le ratio résultant de cette somme représente une estimation du pourcentage de durée de vie consommée. Cette méthode permet donc de connaître un pourcentage d'endommagement. Il est nécessaire de signaler que cette loi effectue quelques approximations. La loi ne tient pas compte des phénomènes de superposition de dommage occasionnés pour des sollicitations de type différents (vibratoires, hygrométriques ou thermiques). Ce type d'outil (lois de fiabilité [7]) permet la mise en place de modèle où tous les paramètres physiques sont connus afin de pouvoir les utiliser avec peu de retour d'expérience.

Ces différents moyens permettent de calculer un indicateur de santé de l'ensemble surveillé et donc de fournir une information à l'opérateur de maintenance.

La certification :

La certification d'un système basé sur de la surveillance d'état de santé pour la maintenance nécessite un niveau élevé de fiabilité pour une autorisation d'utilisation en opérationnel. Les procédés de certification du type « end to end » permettent de déterminer ce niveau de fiabilité mais ne seront pas décrits dans cet article [8] [9].

4. APPLICATIONS ET RÉSULTATS

Une étude a été réalisée, à l'aide d'enregistrements déchargés d'un aéronef, durant le temps d'un TBO. A l'aide des données vibratoires, d'usage et de spectre de vol, nous avons pu estimer l'endommagement réel subit par l'ensemble mécanique surveillé.

Voici une description de l'élément mécanique surveillé.

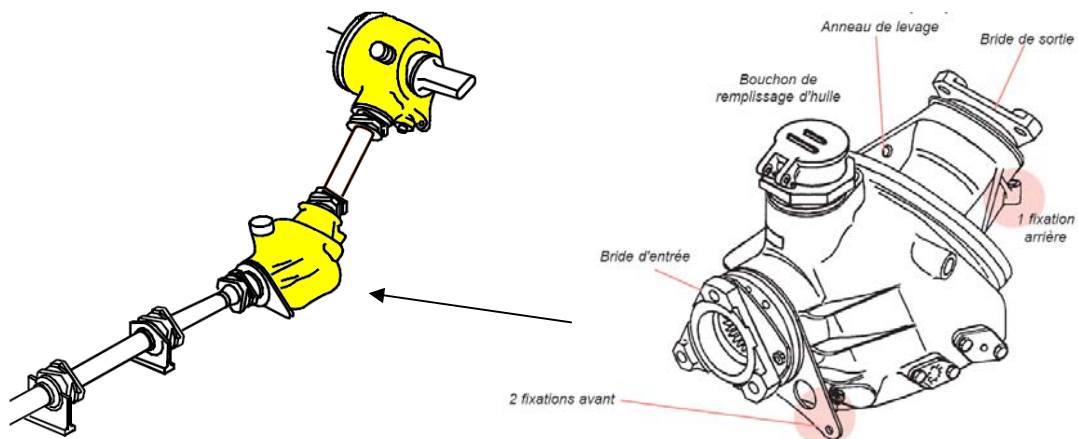


Figure 5. BTI

L'élément mécanique support est une BTI (Boîte de Transmission Intermédiaire). Nous avons récupéré l'ensemble des données déchargé d'un aéronef afin de mettre en place les différentes analyses présentées plus haut. Nous avons commencé cette simulation depuis la dernière révision générale de l'appareil. Les pièces sont alors considérées comme neuves.

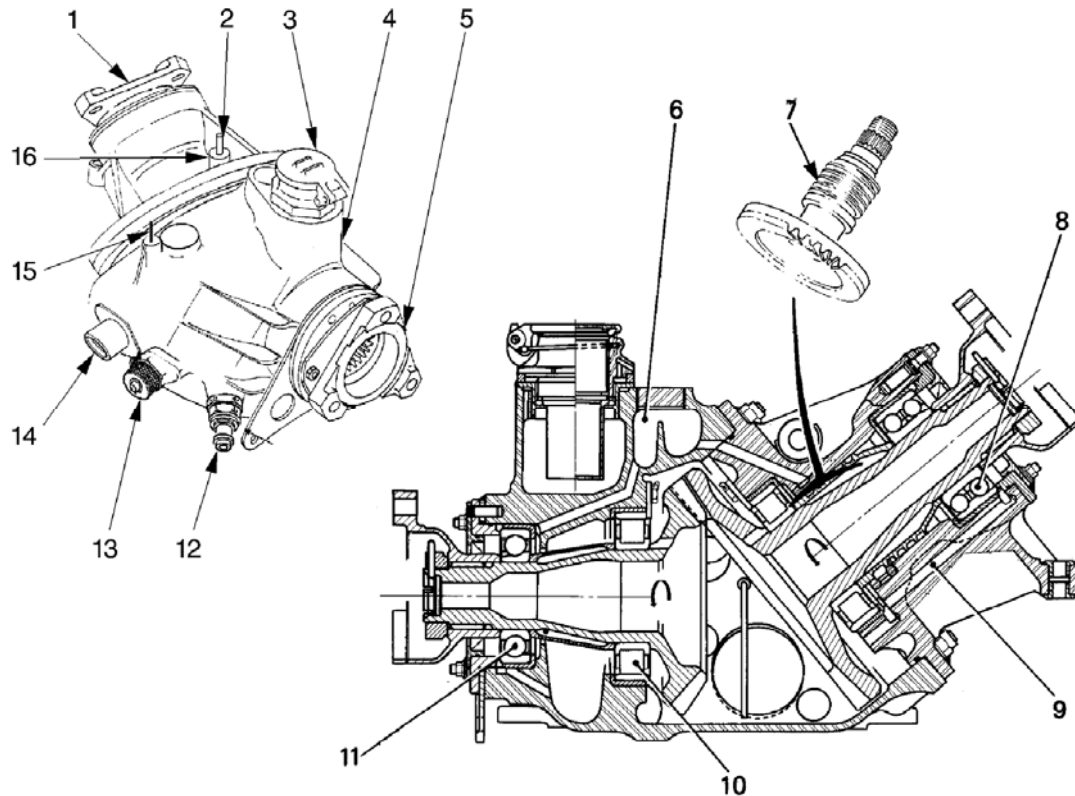


Figure 6. Description

La boîte de transmission intermédiaire (4) est un renvoi d'angle de 140°. Elle reçoit son mouvement de la transmission horizontale sur la bride d'entrée (5) et le transmet, après réduction de la vitesse de rotation, à la transmission oblique par la bride de sortie (1). Le carter est équipé d'un voyant de niveau d'huile (14), d'une sonde de température (12), d'un détecteur magnétique de particules (13), ou d'un bouchon de remplissage (3). Une jauge d'huile (15) permet un contrôle plus précis du niveau. Un support d'accéléromètre (16) est prévu pour les appareils équipés d'un système d'aide à la maintenance. Un anneau de levage (2) facilite les opérations de maintenance. La lubrification des roulements (10) et (11) est assurée par barbotage, alors que celle du roulement (8) s'effectue par aspersion d'huile depuis le réservoir (6) et par un convoyeur (7). Après lubrification, l'huile est dirigée vers la partie basse du carter par le canal (9).

Ci-dessous la liste des paramètres enregistrés et analysés. Cette liste n'est pas exhaustive pour cause de confidentialité :

- Charges
 - Puissance d'entrée
 - Cycle
- Pollution de l'huile

- Environnement
- Spectres vibratoires de différentes pièces de l'élément considéré.

L'analyse de santé de cet élément mécanique peut être divisée en trois catégories :

- analyse des données d'usage
- analyse des données de vol
- analyse des données vibratoire

Analyse des données d'usage

Les données d'usage peuvent être subdivisées en deux grands groupes. Le premier représentant les données de charges et le deuxième représentant les données de lubrification. Voici deux exemples de paramètre suivi pour chaque groupe.

- Analyse de couple

Le couple d'entrée moteur représente les efforts subits par l'élément de transmission. À l'aide de cette enregistrement en temps réel, nous pouvons savoir si les contraintes de design ont été dépassées ou pas. Il est donc possible de caractériser l'endommagement anormal des engrenages au niveau de l'usure de denture (pression de Hertz), des roulements (loi de Harrys ou Palgreen), etc.

Les modèles de calcul d'endommagement en temps réel ne seront pas développés, d'un part car ils n'entrent pas dans le cadre de cet article et d'autre part pour raison de confidentialité.



Figure 7. Couple moteur

- Analyse d'huile

La condition de l'huile est une information nécessaire pour la démarche de suivie d'état de santé des pièces mécaniques de transmission. Les calculs réalisés en phase de conception utilisent des hypothèses de condition de lubrification qu'il faut vérifier lors de nos calculs en temps réel. Pour ce faire, le projet européen ADHER a cherché à montrer le lien entre des conditions de lubrification et un niveau vibratoire ou sonore des éléments mécaniques de transmission.

Projet Européen, ADHER :

- Automated Diagnosis for Helicopter Engines and Rotating parts
- 5 participants venant de quatre pays
- Budget total (€): 1.5 million
- Fin juin 2008

<http://www.adher-project.org>



Figure 8. ADHER

Aujourd'hui, le projet de recherche ADHER a mis en évidence l'importance de l'analyse d'huile pour les nouvelles boîtes de transmission des avions. Elle se décompose en deux parties.

L'Analyse Spectrale de l'Huile (ASH) permet de détecter une usure anormale. En effet, la conception des boîtes mécaniques d'aujourd'hui est faite de telle sorte que les efforts de contact ne génèrent pas d'usure soit des particules présentes dans l'huile. La présence de particule dissoute dans l'huile est donc anormale. Pour cette méthode, des abaques caractéristiques des concentrations réalisés lors d'essai sur banc permettent, avec l'aide d'avis d'expert, d'estimer si l'élément mécanique est usé ou non.

Ensuite, la vérification des hypothèses de conception (mesure de la pression, viscosité et température, par exemple) permettent de déterminer si l'huile a bien rempli son rôle de protection des pièces mécaniques. Par exemple, il est possible de quantifier l'épaisseur du film d'huile entre les dents des engrenages. La surveillance du film d'huile permet de savoir s'il s'est rompu au court de l'utilisation de l'appareil. Par cette méthode, il est possible de détecter des usures rapides engendrées par une mauvaise lubrification.

Analyse des données de vol : spectre de vol

Comparaison entre les spectres de vol client et théorique

Le point de départ de l'analyse spectre de vol est le spectre de vol théorique mis en place en phase de pré-design. Ce spectre de vol comprend un ensemble de phases de vol représentant les différentes utilisations et manœuvres possibles de l'appareil associées à un pourcentage de temps de vol. Dans la phase de pré-design, ce spectre de vol théorique sert de base de calcul à l'ensemble des équipes concevant l'avion. La première étape est la détermination du spectre de charge associé qui

représente les puissances nécessaires pour faire voler l'appareil. Ce spectre de charge permet la conception de l'ensemble des pièces mécaniques de l'appareil lors de la phase de design. Ensuite, les durées de vie de ces pièces mécaniques sont calculées, en fonction du scénario de vie représenté par le spectre de vol théorique.

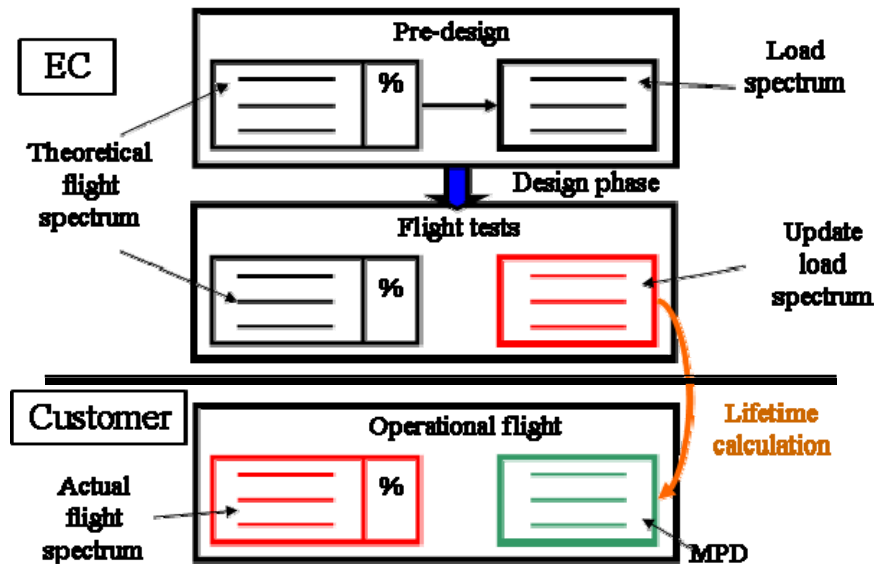


Figure 9. Spectre de vol théorique

Naturellement, le spectre de vol client peut être différent et donc ne plus correspondre au calcul de durée de vie des pièces mécaniques calculés lors de la phase de design. La comparaison du spectre de vol client avec le spectre de vol théorique permet une interprétation des sollicitations subies par les boîtes de transmission et de réévaluer les contraintes exercées.

Le processus de l'analyse :

Reconnaissance de phase de vol : Cette étape nécessite la mise en place de système de classification fiable. Un des problèmes principaux est la création d'un fichier d'apprentissage afin de renseigner les algorithmes de reconnaissance de phase de vol. Pour ce faire, deux méthodes ont été mises en place :

- *Clustering :* cette méthode classe le fichier de vol en plusieurs clusters. Chaque cluster peut représenter une phase de vol. Il faut donc mettre en place un tri de chaque cluster afin de retrouver les phases de vol (avis d'expert).

- *Algorithme à base de règles :* à l'aide de règle simple représentant des conditions de vol il est possible de caractériser une phase de vol. Cette méthode peut venir en soutien de la méthode clustering afin de la valider.

Une fois la base de données d'apprentissage créée, il est possible d'utiliser des algorithmes génétiques. Plusieurs études et tests ont permis de trouver l'algorithme le plus adapté à l'objectif. Voici les candidats testés, cette liste n'est pas exhaustive et toutes les technologies peuvent être testées :

- *Learning classifier system* : Algorithme apprenant nécessitant une base de données d'apprentissage. Ce système permet de lier à un environnement un classeur représentant une phase de vol.

- *Case Based Reasoning* : Ce système basé sur des règles, peut être mis en place à l'aide d'avis d'expert. Il peut reprendre les règles définies dans la phase 1 du projet. Ce type d'algorithme permet aussi un apprentissage semi-automatique des règles afin d'affiner le résultat.

- *SOM, Self-Organizing Map* : Les cartes auto organisatrices (SOM) de Teuvo Kohonen sont utilisées dans de nombreux domaines traditionnels d'analyse de données. L'avantage de cette méthode est de pouvoir introduire la notion de voisinage entre les classes. Il est donc intéressant de tester cette méthode en ajoutant une information supplémentaire de voisinage (exemple, il est impossible de passer de la phase de vol : « sol » à la phase de vol : « vol en palier »)

Cumule des temps : Le temps passé dans chaque phase de vol est cumulé sur l'ensemble de la vie de l'appareil ou tout au moins depuis la dernière révision générale. Voici l'histogramme représentatif de l'utilisation de l'appareil par un de nos clients.

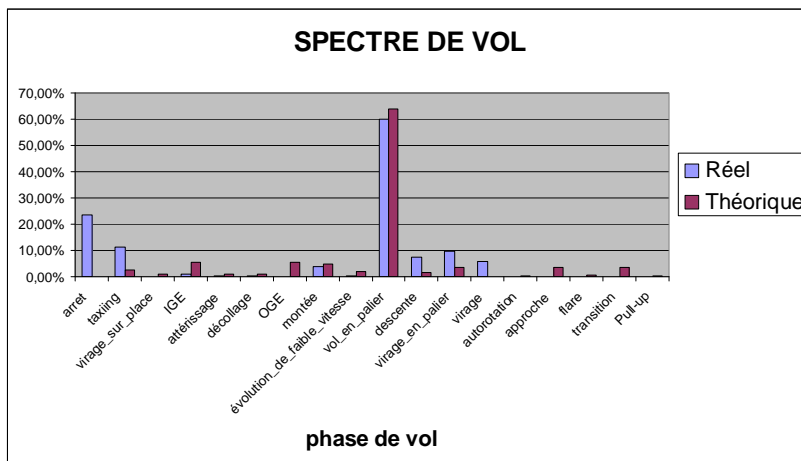
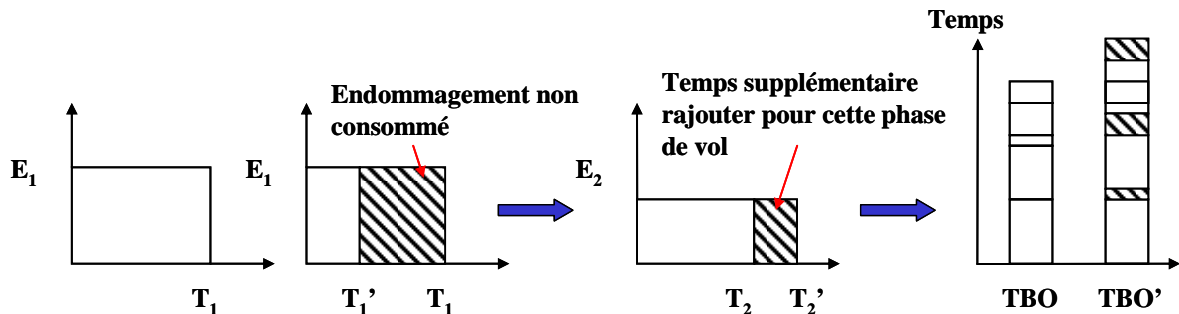


Figure 10. Spectre de vol client

Interprétation : Une fois le temps cumulé connu pour chaque phase de vol, il est possible de réaliser la comparaison entre le spectre de vol théorique et le spectre de vol client. Nous pouvons donc mettre en place une optimisation de l'enveloppe d'utilisation.

Prenons l'exemple ci-dessous, la phase 1 est déterminée pour créer un endommagement E1

avec un temps d'utilisation T_1 . Si le client réalise cette phase de vol que durant le temps T_1' , il est possible de calculer un endommagement non consommé. Cet endommagement peut être distribué sur une autre phase de vol E_2 , par exemple.



E_1 = endommagement dans la phase 1 pour le temps T_1

Figure 11. Manipulation des enveloppes de vol

Les potentiels de temps non utilisés de chaque phase de vol sont réattribués aux phases de vol les plus utilisées par le client. De cette manière, il est donc possible d'augmenter le TBO global d'un élément en surveillant son utilisation et en rajustant son utilisation. Certaines phases de vol très contraignantes verront leurs temps d'utilisation réduits afin d'augmenter les phases de vol n'entraînant pas d'endommagement important des mécaniques.

Vérification avec les paramètres vibratoires

Dans le processus de crédit de maintenance, l'analyse vibratoire est en charge de vérifier le bon état de fonctionnement des ensembles mécaniques. En effet, les analyses des paramètres de vol et d'usage de la machine permettent de prédire une panne (pronostic). L'analyse vibration, dans ce processus, permet la mise en place d'alarme si elle détecte une panne (diagnostic)

Voici un schéma représentant le principe de vérification du calcul, surveillance du spectre vibratoire.

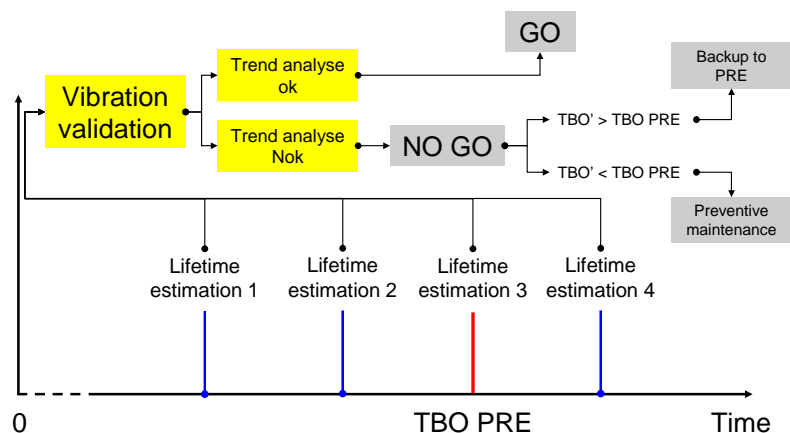


Figure 12. Utilisation de la vibration

Résultat

La fonction crédit de maintenance prend en compte l'ensemble des résultats de chaque analyse vue plus haut. Elle s'appuie sur un retour d'expérience solide, composé de plusieurs expertises mécaniques des boîtes de transmission reliées aux différentes utilisations et types de missions réalisé par nos clients. Plusieurs moyens de communication (portail web, centralisation de données) sont liés à cette fonction crédit de maintenance.

Voici une illustration du résultat après estimation :

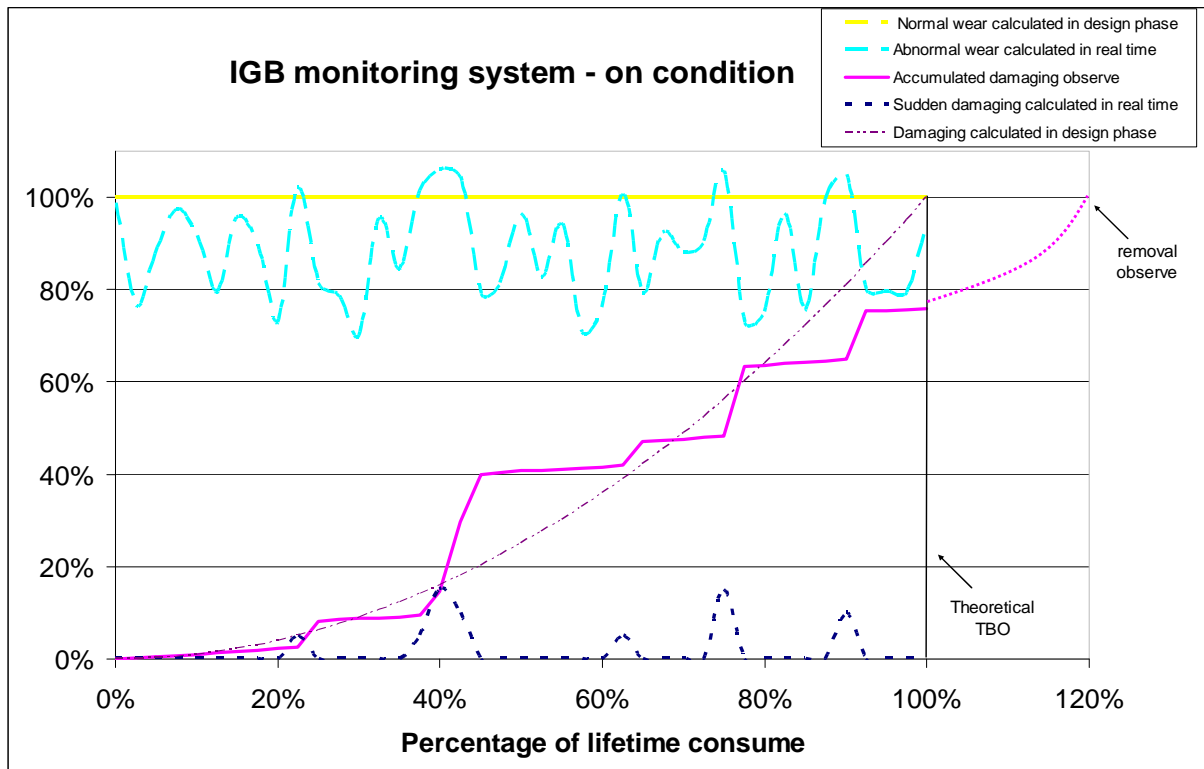


Figure 13. Surveillance ensemble mécanique

En surveillant l'utilisation réelle de l'appareil ainsi que les contraintes et efforts subis par la pièce mécanique, le système permet de repousser la dépose calculée lors de la phase de conception. Le cumul des dommages permet d'augmenter le TBO de 20%, donc de diminuer les coûts de maintenance.

Ces résultats ne sont qu'une illustration, les enregistrements et conclusions réelles ne sont pas diffusables.

Perspectives

Cette simulation permet de voir qu'avec l'analyse des paramètres d'usage et de l'historique de l'utilisation de la machine, il est possible de connaître un niveau d'endommagement. Cependant, aujourd'hui cette méthode ne couvre pas l'ensemble des modes de dégradation connus sur les boîtes de transmission mécanique. C'est pourquoi, de nouveaux projets de recherche sont mis en place pour définir des modèles capables de prendre en compte les modes de dégradation difficilement maîtrisable (Fretting par exemple).

Les travaux de recherche s'appuient donc sur de nombreux tests sur banc ainsi qu'un retour lient rassemblés dans une base de données afin de nous permettre de développer nos modèles de calcul.

5. CONCLUSION

Pour conclure le concept de crédits de maintenance s'appuie sur un système de surveillance embarqué dans les hélicoptères Eurocopter, qui est composé de plusieurs modules tous liés entre eux afin de suivre, avec toute la fiabilité nécessaire, l'état de santé ou de dégradation d'un hélicoptère. La première phase d'analyse permet le traitement des données brutes afin de mettre en évidence des indicateurs d'état de santé fonction du type de données enregistrées. La deuxième phase d'analyse appelé fusion de données, génère un taux de dégradation de l'ensemble mécanique surveillé afin d'en connaître sont pourcentage de vie restante. Ces analyses font appelle à des algorithmes, lois mathématique et statistique... permettant cette estimation.

La surveillance des éléments mécaniques d'un aéronef permet, non seulement de diminuer les risques de pannes en vol, mais aussi de diminuer les coûts de maintenance. Les risques de pannes sont diminués à l'aide de la maîtrise des modes de dégradation qui permet une connaissance fiable des mécaniques de l'appareil. La maintenance des aéronefs devient donc personnalisée, avec l'utilisation d'un Programme Recommandé d'Entretien non plus fixe, mais dynamique, généré par l'utilisation réelle de la machine.

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Wiig J., 2006, optimization of fault diagnosis in helicopter health and usage monitoring systems.
2. Andrew Becker, Paul Rawson, 2005, A health Assessment of lubricating oil in two Australian Army CH-47D helicopters, Eleventh Australian International Aerospace Congress.
3. P. Lyonnet, P.L. Maisonneuve, R. Toscano, B. Lanternier, 2006, Artificial Neural Network model for predicting the reliability of mechanical components, Proceedings of 24th Machinery Vibration, Reliability and Maintenance.
4. W.E. Failer, S.J. Schreck, 1996, Neural networks: applications and opportunities in aeronautics, Prog. Aerospace Sci. Vol. 32, 433-456.

5. R.H. Cabell, C.R. Fuller, W.F. O'Brien, 1998, Neural network modelling of oscillatory loads and fatigue damage estimation of helicopter components, *Journal of Sound and Vibration* 209, 218-231.
6. S. Ghelam, J-P. Derain, Z. Simeu Abazi, 2006, Predictive maintenance in avionics.
7. C. Cempel, J.T.P. Yao, H.G. Natke, 2000, Symptom reliability and hazard for systems condition monitoring, *Mechanical Systems and Signal Processing*.
8. T.E. Munns, R.E. Aubrey M. Culp, D.A. Murphy, R.M. Kent, Dec 2000, Analysis of Regulatory Guidance for Health Monitoring, NASA/CR-2000-210643.
9. Federal Aviation Administration, 2003, Airworthiness approval of rotorcraft health usage monitoring systems (HUMS), AC 29 MG 15.