



HAL
open science

Accéder au réel du travail de maintenance sur hélicoptère

Camille Murie, Willy Buchmann, Lucie Cuvelier, Flore Barcellini, Fabien
Bernard, Raphaël Paquin

► **To cite this version:**

Camille Murie, Willy Buchmann, Lucie Cuvelier, Flore Barcellini, Fabien Bernard, et al.. Accéder au réel du travail de maintenance sur hélicoptère. Doctoriales EPIQUE 2019, ARPEGE, Jul 2019, Lyon, France. hal-03962656

HAL Id: hal-03962656

<https://hal.science/hal-03962656v1>

Submitted on 30 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Doctoriales EPIQUE 2019 :

Accéder au réel du travail de maintenance sur hélicoptère

Camille Murie¹⁻³, Willy Buchmann¹, Lucie Cuvelier², Flore Barcellini¹, Fabien Bernard³, Raphaël Paquin³

¹ CRTD, CNAM Paris, 41 rue Gay Lussac 75005 Paris

camille.murie@lecnam.net, willy.buchmann@lecnam.net, flore.barcellini@lecnam.net

² C3U-Paragraphe, Université Paris 8, 2 rue de la Liberté 93526 Saint-Denis
lucie.cuvelier@univ-paris8.fr

³ Airbus Helicopters, Aéroport International Marseille Provence, 13700 Marignane
fabien.bernard@airbus.com, raphael.paquin@airbus.com

RÉSUMÉ

Confronté à de récents accidents liés à des défaillances dans la maintenance des hélicoptères, l'industrie aéronautique s'intéresse de plus en plus à la sécurité de ses appareils. Le concept d'erreur humaine peut être alors convoqué bien qu'il présente certaines limites. Dans ce cadre un premier objectif de notre travail de thèse est de comprendre l'activité de maintenance des hélicoptères dans différents contextes. Cet objectif renvoie à un enjeu scientifique : produire un modèle de l'activité de maintenance d'hélicoptère- et pragmatique : soutenir le développement d'outils prédictifs mobilisables par des ingénieurs en maintenabilité¹. N'ayant pour le moment pas accès physiquement aux situations réelles de maintenance, la méthode d'entretien des incidents critiques est utilisée pour nous permettre d'approcher cette activité. Les premiers résultats mettent en avant quatre dimensions de l'activité de maintenance : La planification de l'action, la construction d'un diagnostic, les arbitrages pour l'action et les éléments de contexte influençant ces trois premières dimensions.

MOTS-CLÉS

Sécurité, Maintenance, Incidents critiques, Aéronautique

1. INTRODUCTION

Notre recherche se déroule dans le cadre d'un contrat de thèse CIFRE débuté au 1^{er} mars 2019 réunissant un fabricant d'hélicoptère, l'équipe d'ergonomie du CRTD (Centre de Recherche sur le Travail et le Développement) du CNAM Paris et le laboratoire Paragraphe de l'Université Paris 8. Un premier objectif de notre travail de thèse est de comprendre l'activité de maintenance des hélicoptères dans différents contextes. Dans ce document nous exposerons notre état d'avancement en présentant le contexte de la thèse à travers ses enjeux. Afin de mieux connaître l'activité de maintenance des hélicoptères nous proposerons une première analyse basée sur des entretiens de type « incident critique » auprès de différents acteurs de la maintenance aéronautique d'hélicoptères. Nous détaillerons ainsi la méthodologie déployée et les résultats associés. Pour finir nous présenterons notre vision de la poursuite de la thèse.

2. ENJEUX DE LA THESE

Conformément aux directives de l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), la maintenance des hélicoptères est prise en charge en partie par le constructeur mais également par les clients. Au sein d'un bureau d'études, le département maintenabilité du constructeur a pour objectif de concevoir les activités de maintenance en influençant l'architecture produit et le développement

¹ La maintenabilité définit la capacité d'un produit à être maintenu ou réparé facilement lors des opérations de maintenance pour qu'il retrouve les fonctions pour lequel il a été conçu (Bernard, 2017)

d'outillages et de consignes dédiées aux clients pour la réalisation des tâches de maintenance, et ceci que l'hélicoptère soit en développement ou qu'il soit déjà déployé.

Anticiper l'activité de maintenance est porteur d'enjeux essentiels pour l'entreprise et ses clients :

- Des enjeux de sûreté de fonctionnement et de fiabilité. Un récent accident d'hélicoptère lié à une défaillance dans le processus de maintenance a contribué à renforcer les besoins d'analyse des causes d'accidents et d'incidents liés à des questions de maintenance et ce afin d'anticiper cette activité dès les phases de développement de l'hélicoptère et d'améliorer l'intégration de la maintenabilité au cours de la vie du produit.
- Des enjeux commerciaux et marketing puisqu'une partie de la maintenance est réalisée par les clients eux-mêmes. La satisfaction client est liée à la capacité du constructeur de prendre en compte ses ressources et ses contraintes pour fournir un système de maintenance sûr et simplifié.

Une première thèse (Bernard, 2019) au sein de l'entreprise a permis de développer une démarche d'analyse permettant de mieux intégrer l'ergonomie en maintenabilité par des non spécialistes. Plus particulièrement cette première recherche s'est focalisée sur l'anticipation de l'activité de maintenance en phase préliminaire de conception voire de reconception d'un produit ou d'une pièce. Bernard (2017) indique qu'il y a bien une volonté d'intégrer l'ergonomie au processus de conception en maintenabilité en général, mais qu'elle se limite bien souvent à l'ergonomie physique et aux aspects normatifs associés. La demande de l'entreprise est que la thèse présentée ici se positionne en complémentarité de cette première thèse afin de mieux comprendre l'activité de maintenance chez le client. Ceci permettra de rendre visible l'activité de maintenance auprès du département de maintenabilité et de contribuer à la conception d'une démarche soutenant l'activité des acteurs de la maintenabilité, notamment du point de vue de l'amélioration de la sécurité et de la fiabilité humaine et des processus de conception des situations de travail.

Aujourd'hui l'entreprise cherche à améliorer la fiabilité humaine en maintenance en identifiant et en éliminant les risques d'erreur. L'erreur fait référence à une situation (Daniellou, Simard, & Boissières, 2010) dans laquelle une séquence planifiée d'actions échoue à atteindre leurs buts attendus (Reason et al., 1990) au-delà de l'influence d'évènements aléatoires (Latorella & Prabhu, 2000). L'erreur est involontaire (Reason et al., 1990) et traduit l'impossibilité d'un opérateur à faire face à une situation anormale (Faye, 2007). Hollnagel (1993) dissocie deux aspects trop souvent confondus dans cette notion d'erreur : (1) L'erreur comme cause d'un évènement (le phénotype de l'erreur) et (2) l'erreur comme une classe spéciale d'actions. L'erreur est alors définie par les mécanismes psychologiques ou cognitifs expliquant l'action (le génotype de l'erreur). Il propose alors la notion « d'action erronée » pour définir une action ne produisant pas le résultat prévu et pouvant aboutir à des effets indésirables.

Conscient que les erreurs ne peuvent être imputables qu'au seul opérateur de maintenance, le service maintenabilité de l'entreprise est aujourd'hui impliqué dans l'analyse des accidents et des incidents. Cependant la majorité des erreurs étant sans conséquence (Daniellou, Simard, & Boissières, 2010), l'analyse des accidents et des incidents remontés par les clients ne peut être suffisante à la compréhension de l'activité. Le service maintenabilité a alors développé, en parallèle de la première thèse, une méthode d'identification et d'évaluation du risque d'erreur lors des opérations de maintenance. Cette méthode est basée sur l'analyse de l'activité et de simulations de situations de maintenance. Cette analyse est ensuite utilisée pour agir sur les situations de travail via la mise en place de différentes barrières (documentaire, outillage, procédure, formation, conception de l'hélicoptère).

3. OBJECTIFS ET STRATEGIE DE RECHERCHE

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail de thèse renvoie à un enjeu scientifique : produire un modèle de l'activité de maintenance d'hélicoptère et de son rôle dans la sécurité des vols - et à un enjeu pragmatique : soutenir le développement d'outils prédictifs mobilisables par des ingénieurs en maintenabilité.

L'objectif de l'étude présentée ici est de produire un premier modèle compréhensif de ce qu'est l'activité de maintenance sur hélicoptère mais aussi d'éprouver la méthode des incidents critiques utilisée. Ce travail s'inscrivant dans l'épistémologie de l'ergonomie de l'activité (Leplat, 1985), nous chercherons à caractériser le système d'activité des mécaniciens de maintenance à travers plusieurs dimensions de l'activité.

Les entretiens réalisés ont ciblé un mécanicien pour recueillir des informations au plus proche des opérations de maintenance mais également un pilote en tant qu'utilisateur final de l'hélicoptère. Nous avons fait l'hypothèse que la maintenance a une influence sur leurs métiers et que l'activité des pilotes est une composante du système d'activité des mécaniciens de maintenance

4. METHODOLOGIE

Certaines opérations de maintenance sont réalisées par les clients du constructeur, situés dans le monde entier. Les contraintes industrielles rendent difficile pour l'ergonome l'accès physique aux situations de travail des mécaniciens de maintenance. Notre premier défi a alors été d'accéder aux informations du terrain, sans terrain. Nous avons donc choisi de mobiliser la méthode des incidents critiques. L'entretien des incidents critiques a pour objectif de déterminer les exigences critiques d'une tâche précise (Bisseret, Sebillotte, & Falzon, 1999) via la subjectivité et l'expérience des opérateurs. Certains auteurs mettent en avant que l'incident n'a pas besoin d'être exceptionnel pour être critique mais doit être marquant pour le sujet et le collectif de manière positive ou négative (Deslauriers et al., 2017; Leclerc et al., 2010).

Le concept d'incident critique est remplacé par celui d'incident significatif par certains chercheurs afin d'éviter un phénomène de résistance des personnes interviewées (Butterfield et al., 2005). Au cours des entretiens nous n'avons pas utilisé le terme d'incident mais de situation car le mot « incident » a déjà une signification dans le domaine de l'aéronautique. Un incident est un événement associé à une opération sur l'appareil qui affecte ou peut affecter la sécurité de l'opération (définition du constructeur). Au cours des entretiens nous parlerons donc de situation significative considérée comme étant un événement passé, exceptionnel ou non, vécu par un sujet comme étant marquant dans son activité individuelle et celle du collectif et ayant eu un impact positif ou négatif sur son activité.

Un premier entretien exploratoire semi directif nous a permis de nous familiariser avec le métier des participants (pilote et mécanicien) et de créer le lien de confiance nécessaire au deuxième entretien. Un second entretien consistait en la méthode des incidents critiques à proprement parlé.

Les quatre entretiens ont été intégralement retranscrits (de 461 à 599 lignes) pour permettre une première analyse. Nous avons regroupé les éléments du discours autour de dimensions communes qui nous semblaient ressortir des entretiens. Le codage manuel a permis d'identifier 4 dimensions : la planification de la maintenance, la construction d'un diagnostic de la situation, les arbitrages pour l'action et les éléments influençant l'action. Chaque dimension a été détaillée sur 5 niveaux, du plus détaillé au plus global.

5. RESULTATS

Les entretiens des incidents critiques nous ont permis d'identifier 4 situations :

- Une situation rapportée par le mécanicien : la perte d'une partie de l'outil de prélèvement d'huile dans la Boite de Transmission Principale ;
- Trois situations rapportées par le pilote ; (1) un impact d'oiseau nécessitant une intervention du pilote, (2) une défaillance de batterie nécessitant l'intervention d'urgence d'un mécanicien et (3) une dégradation d'une pale nécessitant l'intervention de deux mécaniciens et l'aide du pilote.

La figure 1 ci-dessous représente les 3 premiers niveaux de codage de ces 4 situations significatives et des deux entretiens exploratoires :



Figure 1 : Le système d'activité de maintenance d'hélicoptère

5.1. Comprendre pour agir ou agir pour comprendre ?

La première catégorisation ci-dessus distingue 3 dimensions : la planification, les processus de compréhension de l'activité et les processus de l'action. Les éléments influençant l'action sont regroupés dans une quatrième dimension qui agit sur les trois autres et définit le contexte de la situation. Nous avons dissocié la dimension « construire un diagnostic » de la dimension « Agir à travers des arbitrages » alors que l'analyse de ces entretiens fait apparaître un aller-retour constant entre ces deux dimensions (Cuvelier, 2016). Cette séparation ne rend pas compte du fait que l'action aide à la compréhension (Amalberti, 2001). La situation de surchauffe de la batterie illustre le fait que les opérateurs préfèrent agir sur une situation imparfaitement comprise plutôt que de se construire une représentation la plus fidèle possible de la réalité, au risque d'agir trop tard (Amalberti, 2001, Cuvelier, 2016). En effet, le mécanicien ne sait pas pourquoi de la fumée s'échappe d'un capot de l'hélicoptère en vol. Une première représentation de la situation l'amène à considérer cette situation comme une situation d'urgence qui nécessite un atterrissage immédiat. Une fois au sol il décide d'ouvrir le capot et voit la batterie gonflée. Ces informations suffisent pour le décider à extraire la batterie et à la poser à l'écart de l'hélicoptère et des personnes présentes, craignant une explosion de la batterie et davantage de dommage pour l'appareil. Ici, on peut faire l'hypothèse que les représentations de la situation mobilisées par le mécanicien ne sont pas exactes mais opérationnelles (Amalberti, 2001).

5.2. L'action fondée sur une série d'arbitrages

Les actions du mécanicien et du pilote semblent être le fruit d'une série d'arbitrages. S'il a le choix, le mécanicien choisira les modes opératoires qui demandent le moins de ressources, tant humaines que matérielles et qui permettent une reprise rapide de service de l'hélicoptère. Par exemple, suite à la perte d'un tuyau (une partie de l'outil de prélèvement d'huile) dans la Boîte de Transmission Principale (BTP) au SAMU², le mécanicien essaie d'abord de le récupérer avec un outil disponible immédiatement (un fil de fer), puis recherche divers outils dans différents services de l'hôpital (miroir de dentiste, pince multiprise) qui l'aideront à régler le problème seul. Le mécanicien avait alors conscience qu'une autre solution plus coûteuse existait, envoyer la Boîte de Transmission au constructeur. Le mécanicien sait que choisir cette solution implique un coût de maintenance de la BTP très élevé pour la société d'exploitation mais surtout immobilise l'hélicoptère pour une longue période. Contrairement au secteur militaire qui dispose d'une flotte importante d'hélicoptères de remplacement, l'immobilisation d'un hélicoptère dans le secteur privé et particulièrement au SAMU est lourde de conséquences.

D'un autre côté, le mécanicien est garant de la sécurité de l'appareil et de ses occupants. Le mécanicien est donc amené à arbitrer entre le besoin de limiter les coûts de maintenance et d'immobilisation de l'hélicoptère avec la sécurité des passagers de l'appareil. Une fois avoir inspecté et mesuré les dégâts sur l'hélicoptère avec la batterie gonflée, le mécanicien ne parvient pas à établir avec certitude la cause de défaillance de la batterie. Il pose un diagnostic qu'il sait approximatif. Il évalue alors le risque de reprise de vol pour rapatrier au plus vite l'hélicoptère et décide de faire voler l'appareil sans mettre en route les schémas électriques, soupçonnés d'être la source de la défaillance. Le pilote rentre alors seul sans les outils de navigation du cockpit, action qu'il considère comme relativement simple à effectuer et requérant des compétences de base de pilotage.

Dans ces exemples le mécanicien semble évaluer au moins partiellement les impacts potentiels en termes de sécurité et de performance pour chaque arbitrage réalisé (Di Cioccio, 2012).

5.3. La gestion collective de la sécurité

La recherche de compréhension des situations et les arbitrages réalisés par le mécanicien et le pilote ne se font pas seul. Dans toutes les situations significatives, les mécaniciens et pilotes échangent autour de ce qu'ils savent de la situation, de son évolution et des conséquences des différentes

² Service d'Aide Médicale Urgente

décisions possibles avec différents acteurs. L'incident relatif à un impact de pale sur le bord de l'autoroute, un dimanche, lors d'une mission pour le SAMU, montre une grande coopération des acteurs. Après qu'une pale de son hélicoptère ait été percutée par une camionnette, le pilote prend contact avec le PDG de la société d'exploitation. Le pilote a d'abord partagé avec le PDG les informations issues de l'inspection visuelle de la pale. Le PDG a ensuite informé le mécanicien de garde de l'atelier de la société ainsi que le mécanicien posté à l'hôpital de rattachement de l'hélicoptère. Nous rapprochons ce partage d'information à une synchronisation cognitive du collectif avec une synchronisation opératoire (Cuvelier, 2016) organisée par le PDG qui avait pour but de coordonner les actions du pilote, des mécaniciens mais aussi d'entamer avec le SAMU la négociation de mise en place d'un détachement d'hélicoptère de remplacement pour reprendre les missions d'urgence.

6. CONCLUSION

La nécessité de se rapprocher au plus près du travail réel de maintenance sans pour autant avoir accès directement au terrain nous a poussés à envisager une approche indirecte via une série d'entretiens par la méthode des incidents critiques. A travers cette première étude nous cherchions à comprendre l'activité de maintenance des hélicoptères dans différents contextes. L'analyse des entretiens des incidents critiques nous a apporté un premier niveau de compréhension en mettant en avant 4 dimensions de l'activité de maintenance : la planification de l'activité, la construction d'un diagnostic, la réalisation d'arbitrages pour l'action et les éléments qui influencent ces 3 premières dimensions. Par la suite nous envisageons de poursuivre ces entretiens avec des clients de nationalités différentes, d'autres pilotes et mécaniciens dans divers contextes en interne et à l'extérieur de l'entreprise. Parallèlement nous cherchons à comprendre les méthodes et outils utilisés par les ingénieurs en maintenabilité pour penser la sécurité en maintenance. La confrontation de l'activité de maintenance dans ces différents contextes et des enjeux auxquels sont confrontés les ingénieurs en maintenabilité doivent nous permettre de répondre à certains enjeux de cette thèse.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R. (2001). La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie Française*, 46(2), 105–117.
- Bernard, F., Bazzaro, F., Sagot, J.-C., & Paquin, R. (2017). Consideration of human factor in aeronautical maintainability. In *2017 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)* (pp. 1–7). Orlando, FL, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/RAM.2017.7889653>
- Bernard, F., Zare, M., Sagot, J.-C., & Paquin, R. (2019). Virtual Reality Simulation and Ergonomics Assessment in Aviation Maintainability. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Eds.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)* (Vol. 822, pp. 141–154). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96077-7_15
- Bisseret, A., Sebillotte, S., & Falzon, P. (1999). La technique des incidents critiques. A. Bisseret, S. Sebillotte, & P. Falzon, *Techniques Pratiques Pour l'étude Des Activités Expertes*, 123–132.
- Butterfield, L. D., Borgen, W. A., Amundson, N. E., & Maglio, A. S. T. (2005). Fifty years of the critical incident technique: 1954-2004 and beyond. *Qualitative research*, 5(4), 475-497.
- Cuvelier, L. (2016). Agir face aux risques, regard de l'ergonomie. *Les Regards sur la sécurité industrielle*, (2016–01), 68.
- Daniellou, F., Simard, M. et Boissières, I. (2010). Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : un état de l'art. Numéro 2010-02 des *Cahiers de la Sécurité Industrielle, Fondation pour une Culture de Sécurité Industrielle*, Toulouse, France (ISSN 2100-3874).
- Deslauriers, J.-M., Deslauriers, J.-P., & LaFerrière-Simard, M. (2017). La méthode de l'incident critique et la recherche sur les pratiques des intervenants sociaux. *Recherches Qualitatives*, 36, 19.
- Dicioccio, A. (2012). *Articuler sécurité et performance: les décisions d'arbitrage dans le risque en aéronautique* (thèse de doctorat), Conservatoire national des arts et métiers, Paris. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01674153v2>

- Hollnagel, E. (1993). The phenotype of erroneous actions. *International Journal of Man-Machine Studies*, 39(1), 1–32. <https://doi.org/10.1006/imms.1993.1051>
- Latorella, K. A., & Prabhu, P. V. (2000). A review of human error in aviation maintenance and inspection. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29.
- Leclerc, C., Bourassa, B., & Filteau, O. (2010). Utilisation de la méthode des incidents critiques dans une perspective d'explicitation, d'analyse critique et de transformation des pratiques professionnelles. *Éducation et Francophonie*, 38(1), 11. <https://doi.org/10.7202/039977ar>
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. A. Colin.
- Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J., & Campbell, K. (1990). Errors and violations on the roads: a real distinction? *Ergonomics*, 33(10–11), 1315–1332. <https://doi.org/10.1080/00140139008925335>