



**HAL**  
open science

# APPORT DES HUMS AU MAINTIEN EN CONDITION OPERATIONNELLE DES SYSTEMES COMPLEXES

Rachel Ares Belkheiri, Stéphane Michel

► **To cite this version:**

Rachel Ares Belkheiri, Stéphane Michel. APPORT DES HUMS AU MAINTIEN EN CONDITION OPERATIONNELLE DES SYSTEMES COMPLEXES. QUALITA2013, Mar 2013, Compiègne, France. hal-00823146

**HAL Id: hal-00823146**

**<https://hal.science/hal-00823146>**

Submitted on 16 May 2013

**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.

# APPORT DES HUMS AU MAINTIEN EN CONDITION OPERATIONNELLE DES SYSTEMES COMPLEXES

## HUMS BENEFITS ON IN SERVICE SUPPORT OF COMPLEX SYSTEMS

Stéphane MICHEL et Michel BARET

LGM

73, route de Vannes

44000 Nantes

### Résumé

Cette communication présente les résultats d'une première série de travaux menés dans le cadre d'une problématique relative à l'acquisition de technologies de type HUMS (Health and Usage Monitoring Systems). Elle décrit la méthodologie outillée qui a été appliquée à des systèmes de défense terrestres permettant de déterminer l'intérêt économique et opérationnel de ces moyens. Cette méthodologie s'appuie d'une part sur des estimations de type coût global de possession et indicateurs d'efficacité opérationnelle et d'autre part sur un modèle mathématique permettant de simuler la mise en œuvre de technologies HUMS.

Ces travaux permettent de rappeler que la mise en place d'une politique de maintenance conditionnelle, voire prévisionnelle mettant en œuvre des technologies de supervision devrait s'accompagner d'une estimation formelle de leur apports économiques et opérationnels.

La méthodologie outillée qui a été développée dans ces travaux s'est finalement révélée comme un véritable outil d'aide à la décision plus qu'un simple modèle de simulation.

---

### Introduction

Un moyen HUMS (Health and Usage Monitoring Systems) fait référence à toute fonction susceptible d'être implémentée sur un système (machine outil, système de transport, production d'énergie...) permettant d'enregistrer et de traiter des informations sur son usage et son « état de santé ». Ces informations constituent les données d'entrée à une approche conditionnelle ou prévisionnelle de la maintenance. Le suivi vibratoire des machines tournantes constitue un exemple représentatif de ces moyens. Il permet, par analyse des spectres vibratoires, de détecter par exemple des dégradations au sein d'un train d'engrenages et d'anticiper l'échange de la roue dentée incriminée.

Ces technologies séduisantes apportent indéniablement une valeur ajoutée qualitative dans la connaissance du comportement des systèmes. Néanmoins, leur justification économique et opérationnelle ne fait pas toujours l'objet d'une démarche formelle laissant place à des a priori sur l'efficacité intrinsèque de ces moyens. En effet, les HUMS augmentent sensiblement les coûts d'acquisition et potentiellement les coûts relatifs à leur maintenance voire leur obsolescence. De ce fait, il peut être intéressant de démontrer que les optimisations économiques sur la maintenance et l'amélioration de l'efficacité opérationnelle du système permettent de dégager un retour sur investissement raisonnable.

C'est cette problématique qui nous a été soumise dans le cadre d'une réflexion sur les apports de la maintenance prévisionnelle dans les systèmes de défense terrestre.

Cette communication présente la première partie des travaux qui ont été mis en œuvre pour répondre à cette problématique. Ils ont abouti à une méthodologie outillée permettant de mesurer le gain économique global apporté par l'optimisation de la maintenance du système. Ont été associés à ces résultats économiques des indicateurs d'efficacité opérationnelle permettant de mesurer l'apport qualitatif des HUMS sur la mission et l'organisation de maintenance. Une seconde partie, non réalisée à ce jour, devrait permettre de traduire économiquement l'amélioration de l'efficacité opérationnelle dans le cadre des théâtres d'opérations.

## Schéma général de la méthode

La méthode s'appuie sur une analyse comparative de deux alternatives :

- Un concept de soutien de référence supportant un véhicule équipé de moyens traditionnels de test et d'autodiagnostic ;
- Une alternative simulée s'appuyant sur la mise en œuvre de moyens de supervision supplémentaires de type HUMS.

La figure 1. présente une vue générale de la méthode.

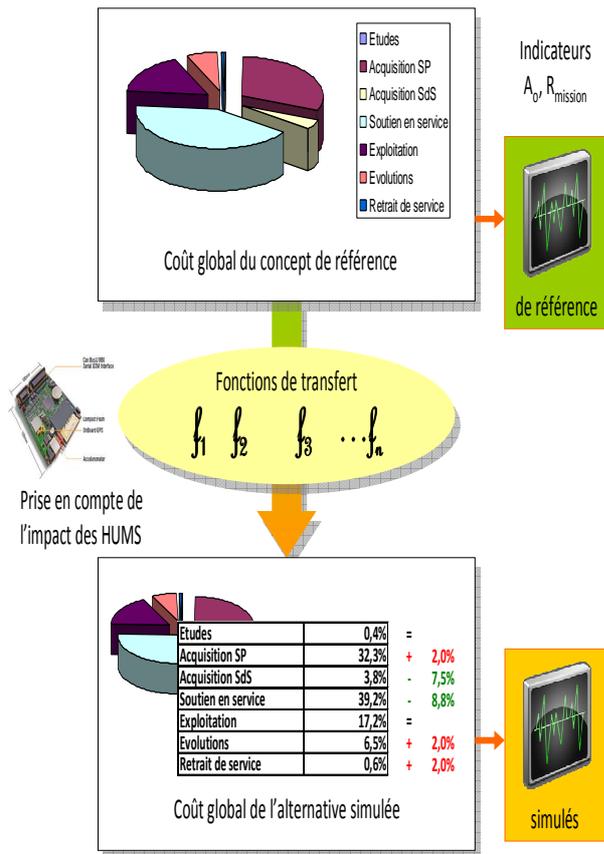


Figure 1. Principe général de l'analyse comparative

L'alternative de référence fait l'objet d'une évaluation économique de type coût global de possession intégrant les aspects études, acquisition, exploitation, soutien opérationnel, modification et démantèlement. En complément, des indicateurs d'efficacité opérationnelle sont définis représentatifs de la disponibilité opérationnelle, de la probabilité de réussite de mission ou de la charge de travail en maintenance par exemple.

A ensuite été créé un modèle mathématique de simulation représentatif de l'implantation de technologies HUMS sur le système. Il est défini par des fonctions de transfert permettant de calculer le

coût global de possession et les indicateurs d'efficacité opérationnelle relatifs à l'alternative simulée.

La dernière étape vise à comparer les deux estimations en coût global de possession d'une part et en efficacité opérationnelle d'autre part et d'en déduire la pertinence de l'investissement.

## Présentation du modèle

### 1 Modèle de coût de référence

La mesure de l'intérêt économique des HUMS passe par une analyse des coûts sur l'ensemble du cycle de vie du produit. En effet, l'utilisation de ces moyens dans le cadre d'une maintenance prévisionnelle permet de réaliser des optimisations sur le soutien mais nécessite des investissements d'études et d'acquisition. En complément, ces moyens sont susceptibles de nécessiter un besoin en maintenance et en pièces de rechanges. Souvent basés sur des applications électroniques et logicielles, ils peuvent faire l'objet d'obsolescences et donc d'évolutions sur des cycles de vie long. Enfin, leur retraitement entraînera aussi des coûts supplémentaires.

La méthodologie s'est donc appuyée sur une estimation du coût global de possession du système complet avec les postes suivants :

- **Etudes**
- **Acquisition du système principal** – Développement, production, kits, validation et qualification
- **Acquisition du système de soutien** – Conception et achat des moyens de soutien
- **Soutien en service** – Maintenance, soutien logistique et activités transverses
- **Exploitation** – Personnels, consommables, munitions, carburant, instruction et entraînement
- **Evolutions**
- **Retrait de service**

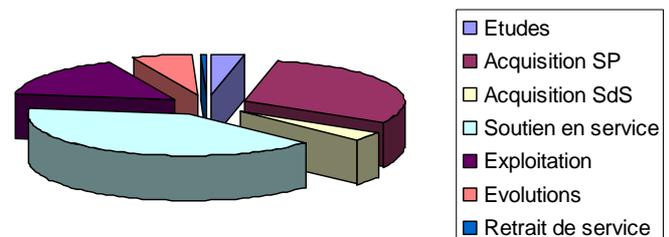


Figure 2. Consolidation du coût global de possession

Compte tenu de la problématique, le modèle de coût associé aux activités de maintenance a du faire l'objet d'une formalisation particulière. En effet, la simulation de la maintenance prévisionnelle nécessite l'application de fonctions de transfert qui doivent s'appliquer au bon niveau d'expression des coûts de maintenance. Afin de ne pas complexifier le modèle, une expression simple des coûts de maintenance a été retenue s'appuyant sur les fréquences des interventions préventives et correctives.

$$C_{OMM} = f_{CA} \cdot C_{CA} + f_{PA} \cdot C_{PA}$$

Avec :

$C_{OMM}$ :	Coût des opérations de maintenance
$f_{CA}$ :	fréquence des interventions correctives
$C_{CA}$ :	Coût moyen d'une intervention corrective
$f_{PA}$ :	fréquence des interventions préventives
$C_{PA}$ :	Coût moyen d'une intervention préventive

## 2 Définition des indicateurs

L'analyse comparative mise en œuvre dans la méthodologie s'appuie sur une analyse comparative du coût global de possession au niveau système et sur des indicateurs de performance opérationnelle (disponibilité opérationnelle, fiabilité de mission, charge de maintenance...). Au stade actuel des travaux, la valorisation économique d'une potentielle amélioration de ces indicateurs n'a pas été réalisée.

Il est à noter qu'une utilisation des HUMS permet d'imaginer le passage d'une démarche opérationnelle à une démarche capacitaire, offrant l'opportunité d'une transformation globale, intégrée et approfondie du système de soutien. En effet, la visibilité apportée par les HUMS sur l'état de santé des matériels permettra de démultiplier les potentiels des systèmes dans une approche d'allocation et de reconfiguration dynamique en parfaite synchronisation avec la maîtrise des actifs, de leur maintenance et des ressources associées.

Compte tenu des objectifs de l'étude, les indicateurs définis n'avaient qu'une vocation comparative. Ils ont de ce fait été formulés de manière simple afin de constituer des tendances statiques de valeurs qui pourraient être observées dans la réalité.

Les indicateurs statiques (moyennes) retenus dans le modèle ont été les suivants :

- Disponibilité opérationnelle

Appuyé sur des fréquences et des durées d'indisponibilité, cet indicateur permet de mesurer le potentiel de projection d'un système en mission. En complément, une amélioration de la disponibilité opérationnelle permet d'accroître le niveau de confiance d'une capacité de projection d'un nombre défini de véhicules souvent exprimée au travers de la DTO (Disponibilité Technique Opérationnelle).

- Probabilité de réussite de mission

L'indicateur de fiabilité se rapporte dans le modèle à l'aptitude du système à terminer la mission opérationnelle. Il s'agit dans ce cas de maximiser la probabilité de tenue de l'objectif tactique d'une mission de combat.

- Charge en maintenance

En lien avec les enjeux actuels de l'amélioration de l'efficacité des forces armées, la charge en maintenance permet d'exprimer une indication de la charge en ressources humaines nécessaires à la maintenance du système.

## 3 Simulation de la maintenance prévisionnelle

La simulation de la maintenance prévisionnelle au travers de la mise en œuvre des moyens HUMS constitue le cœur de la méthode outillée. Cette simulation est réalisée par un modèle mathématique permettant le transfert du concept de soutien de référence vers le concept simulé « HUMS ». Ce modèle, appuyé sur une dizaine de fonctions de transfert principales, réalise le calcul du coût global de possession et des indicateurs d'efficacité opérationnelle associés à l'alternative HUMS (Cf. Figure 3.)

**Figure 3.** Principe du modèle mathématique

Prenons l'exemple de la fonction de transfert utilisée pour le calcul des fréquences d'interventions préventives :

$$f_{PA_s} = f_{PA_R} \cdot \left( 1 - W_{f_{PA}} + \frac{W_{f_{PA}}}{DC} \right) + f_c$$

II

Référentiel économique en maintenance traditionnelle

$$C_{OMM_1} = f_{CA_1} \cdot C_{CA_1} + f_{PA_1} \cdot C_{PA_1}$$

Référentiel économique en maintenance prévisionnelle

$$C_{OMM_2} = f_{CA_2} \cdot C_{CA_2} + f_{PA_2} \cdot C_{PA_2}$$

La formulation des fréquences d'interventions préventives s'appuie sur un premier terme représentatif de la détente de cycle rendue possible par la surveillance de certaines dégradations. Cette détente correspond à la réalisation d'une maintenance conditionnelle relativement à un seuil en lieu et place d'une maintenance préventive systématique. La détente de cycle est exprimée au travers du paramètre DC et dépend du type de dégradation qui sera observé. Il constitue le premier paramètre HUMS du modèle.

Cette fonction traduit ensuite le transfert d'une partie des interventions correctives en maintenance préventive. En effet, la mise en œuvre de moyens de supervision sur certains organes doit permettre de détecter des dégradations potentiellement causes de défaillances. Cette détection permet de réaliser certaines opérations de maintenance de manière préventive en lieu et place d'opération de dépannage suite à défaillance. La détection des dégradations s'exprime au travers de la caractéristique TC (Taux de Couverture) et constitue le deuxième paramètre HUMS du modèle.

Les deux paramètres DC et TC sont utilisés dans plusieurs fonctions de transfert exprimant la durée moyenne des interventions préventives, la fréquence et la durée des interventions correctives, les coûts de maintenance et les coûts de sécurisation des stocks.

Dans la fonction ci-dessus, les paramètres W sont représentatifs du poids des défaillances couvertes par le moyen HUMS relativement à la fréquence des interventions correctives.

Il est à noter que l'étude intègre une analyse de l'influence de la maintenance prévisionnelle sur la sécurisation des stocks. En première approche, elle a permis de simuler deux aspects de cette influence à savoir la réduction de la demande en appel de rechange correctif et l'amélioration de la prévisibilité des appels (par transfert de l'aléa sur le déterministe).

#### 4 Analyses de sensibilité

Le modèle a fait l'objet d'une analyse de sensibilité afin d'identifier les paramètres critiques de la simulation et de mesurer sa robustesse. Compte tenu des objectifs de l'étude portant prioritairement sur l'intérêt économique direct (sur la maintenance) de l'implémentation des moyens HUMS, le référentiel de l'analyse de sensibilité a porté sur la durée d'amortissement globale de l'investissement. Il est calculé par le rapport entre :

- les surcoûts associés à l'acquisition, aux modifications et au retrait de service des moyens HUMS réduits des économies associées à la réduction de la sécurisation des stocks ;
- les économies générées par l'optimisation des fréquences et durées de maintenance.

Il ressort de l'analyse de sensibilité que l'investissement dans les moyens HUMS constitue un paramètre évidemment sensible dans le modèle. Cette constatation a permis finalement de considérer ce paramètre comme une donnée de sortie du modèle plutôt que comme une variable d'entrée. En effet, compte tenu de sa construction, le modèle permet de déterminer quel est l'investissement raisonnable en regard des performances intrinsèques des moyens mis en œuvre. Ceci peut permettre d'alimenter des cahiers des charges d'acquisition de moyens de maintenance prévisionnelle et/ou d'analyser les propositions techniques des fournisseurs.

L'analyse de sensibilité met aussi en évidence l'importance du profil d'emploi du système dans le retour sur investissement. Les systèmes de défense terrestres, et en particulier les véhicules, font généralement l'objet de profils d'emploi modestes en termes de nombre d'heures ou de kilométrages annuels. Or, le profil d'emploi constitue un facteur influent de la quantité de défaillance et par extension, du volume de maintenance corrective. L'intérêt de la maintenance prévisionnelle réside dans la capacité à transférer une partie de la maintenance corrective en maintenance conditionnelle, si le volume de correctif est moins important, le bras de levier apporté par les HUMS se réduit. Ces conclusions devront bien sûr être modérées dans le cas d'une valorisation économique de l'amélioration de l'efficacité opérationnelle.

### **Conclusions des travaux et perspectives**

La méthodologie a été mise en pratique sur un véhicule de défense représentatif des moyens de l'armée de terre actuels et dans un contexte d'utilisation correspondant à la circulation entre plusieurs parcs d'exploitation.

En premier lieu, le déroulement de l'analyse a montré un retour sur investissement relativement lent sur la prise en compte seules des économies sur la maintenance. Le basculement des interventions correctives en maintenance prévisionnelle et la détente de cycle de maintenance systématique ne constituent pas des leviers d'économie importants.

Ceci s'explique en particulier par le fait que les tâches, prévues ou non prévues, doivent toujours être faites. En conséquence, exceptée par détente de cycle, la fréquence globale des interventions varie peu.

L'analyse de sensibilité a ensuite montré l'importance du profil d'emploi dans les résultats. Pour un véhicule militaire globalement peu utilisé, cet aspect est de première importance et réduit le potentiel de retour sur investissement des moyens HUMS. Cette analyse a aussi permis d'exploiter le modèle comme outil d'aide à la décision en réalisant un lien formel entre performances intrinsèques des moyens HUMS et retour sur investissement.

Enfin, l'exploration des indicateurs de performance a laissé entrevoir des leviers économiques beaucoup plus importants dans la rationalisation des moyens capacitaires. Cet aspect n'a pas pu être étudié en première approche mais constitue une piste de complément d'étude pour l'avenir.

### **Références**

Il est intéressant de citer l'article de J.V Ostaeyen et A. van Horenbeek du Centre For Industrial Management de Louvain dans le numéro 3/2011 de Maintworld « Life Cycle Benefits of a Condition Based Maintenance Strategy ».

Cet article a été découvert à l'issue de notre analyse et montre une méthodologie très similaire. Ceci démontre le caractère novateur de ces démarches dans le contexte de l'industrie de la Défense.