



Institut pour la **Maîtrise des Risques**
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

Health and Usage Monitoring System
(HUMS) – Health Monitoring

Projet de l'IMdR n° P15-2

Copyright IMdR – mai 2017

Chefs de Projet :

MM. Michel GIRAUDEAU puis Michel WEINACHTER (Thales)

Contractants :

Sociétés SECTOR et PREDICT – Laboratoire CRAN

sector **PREDICT** **CRAN**

IMdR – 12 avenue Raspail – 94250 GENTILLY
Tél. 33 (0)1 45 36 42 10 Fax. 33 (0)1 45 36 42 14
www.imdr.fr - contact@imdr.eu



Institut pour la **Maîtrise des Risques**
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

Health and Usage Monitoring System
(HUMS) – Health Monitoring

Projet de l'IMdR n° P15-2

Copyright IMdR – mai 2017

Chefs de Projet :

MM. Michel GIRAUDEAU puis Michel WEINACHTER (Thales)

Contractants :

Sociétés SECTOR et PREDICT – Laboratoire CRAN

sector **PREDICT** **CRAN**

L'institut pour la Maîtrise des Risques tient à remercier :

- MM. M. GIRAUDEAU et M. WEINACHTER, Thales qui ont dirigé cette étude,
- Les sociétés qui ont souscrit à ce projet et leurs collaborateurs qui ont participé à sa réalisation :

✓ CNES		MM. François FARAGO, André CABARBAYE
✓ DGA		M. Jeffrey CARDON
✓ EDF		MM. Emmanuel REMY, William LAIR et Redouane SERAOUI
✓ ENGIE		Mme Leila MARLE et M. Arnaud BERLATIER
✓ INERIS		M. Ahmed ADJADJ
✓ IRSN		Mme Naoëlle MATAHRI
✓ NEXTER		M. Bruno COLIN
✓ RATP		Mme Sofia CHAMI et M. Vianney BORDEAU
✓ THALES		MM. Michel GIRAUDEAU et Michel WEINACHTER

- Son Délégué Technique, M. John OBAMA, et son Vice-Président, M. André LANNNOY, qui ont contribué à cette étude,
- La société SECTOR représentée par MM. Rémi PAROUTY et Jean-François BARBET, la société PREDICT représentée par MM. Jean-Baptiste LEGER et Florent BARBIER et le laboratoire CRAN représenté par Benoit IUNG.

NOTE DE PRESENTATION ET DE SYNTHESE

Les souscripteurs suivants (CNES, DGA, EDF, ENGIE, INERIS, IRSN, NEXTER Systems, RATP et THALES) se sont joints dans le projet IMdR P15-2 « Health and Usage Monitoring System (HUMS) – Health Monitoring » afin d'approfondir leurs connaissances du sujet et de proposer un guide pratique sur la mise en place de ces dispositifs.

L'accomplissement du projet repose sur la réalisation de plusieurs tâches permettant de rassembler les connaissances sur les HUMS et de proposer un guide pratique :

- Établissement d'un état de l'art (tâche 1),
- Établissement d'un processus de spécification des HUMS (tâche 2),
- Identification des données utiles à collecter pour la mise en place des HUMS (tâche 3),
- Identification des traitements pouvant être réalisés sur les données collectées (tâche 4),
- Définition du processus de passage du diagnostic au pronostic (tâche 5),
- Fourniture d'un guide de bonnes pratiques (ou de mise en œuvre) des HUMS dans les équipements et les systèmes industriels intégrant l'ensemble des résultats obtenus pour les tâches 2 à 5. (tâche 6).

État de l'art

Les souscripteurs au projet P15-2 ont des expériences et des niveaux de connaissance des HUMS relativement différents. De plus, leurs attentes sont également diverses. Ils peuvent être répartis en plusieurs groupes représentant chacun un point de vue spécifique sur les HUMS :

- Les industriels « exploitants » des actifs industriels déjà fortement instrumentés,
- Les industriels « systémiers » du domaine militaire positionnés sur la conception des HUMS,
- Les organismes « appuis aux tutelles » qui recherchent une base de connaissance,
- Les commanditaires qui spécifient un besoin HUMS.

Par rapport à ces points de vue, les HUMS sont abordés dans l'état de l'art sous les angles fonctionnel, organisationnel et technologique.

Selon la considération fonctionnelle, les HUMS sont caractérisables par 4 fonctionnalités essentielles représentatives de la mise en œuvre d'une maintenance prévisionnelle : (1) acquérir et traiter les données de l'équipement à maintenir (globalement de la surveillance), (2) diagnostiquer l'état de l'équipement (à partir des fautes ou défaillances observées), (3) pronostiquer l'évolution de cet état et (4) aider à la prise de décision en fonction de l'état et de son évolution. Ce sont les fonctions de base (au découpage près) de tout dispositif HUMS.

La fonction diagnostic se décompose généralement en une détection du défaut indiquant l'occurrence d'un problème au sein d'un système, une localisation du défaut précisant le type de l'élément en défaut et une identification de la cause et de la sévérité du défaut.

La fonction pronostic quant à elle, est définie comme l'estimation de la durée de fonctionnement avant défaillance (à partir d'un diagnostic de dégradation) et du risque d'existence ou d'apparition ultérieure d'un ou de plusieurs modes de défaillance. L'indicateur essentiel en sortie de cette fonction est appelé RUL (ou durée de vie résiduelle) auquel il est nécessaire d'associer un degré de confiance puisque représentant une projection dans le futur.

Sur l'aspect applicatif, les hélicoptères ont constitué les premières cibles pour le développement des HUMS et la mise en œuvre partielle ou totale de ces fonctionnalités.

Ces cibles ont évolué pour se porter sur des applications de plus en plus complexes et variées (en technologies, en compétences de conception puis d'exploitation, etc.) ; leurs performances sont ainsi de plus en plus difficiles à atteindre et maintenir. Dans ce contexte, l'ingénierie du HUMS doit se réaliser sur la base d'une considération conjointe du système à maintenir (la cible du HUMS) et de son système de soutien (intégrant le HUMS).

Selon la considération organisationnelle, les HUMS sont généralement composés d'une partie « on board » / embarquée sur le système principal et d'une partie « ground » / débarquée dans les

services utilisateurs du HUMS réalisant le traitement des données et la restitution des indicateurs d'aide à la décision.

Dans cette vision distribuée du HUMS, la sécurité des données est abordée en regard des menaces ou des risques pour le système, et consiste à minima en une protection contre les pertes des données et la prévention de l'accès non autorisé aux informations classées confidentielles. Parallèlement il faut définir la propriété des données.

L'état de l'art a également abordé des sujets tels que la notion de redondance matérielle / analytique ou encore le « big data » et le « machine learning ».

L'état de l'art se conclut, sous l'angle technologique, par la revue de quelques produits HUMS de niveau TRL élevé (proche de l'industrialisation).

Processus de spécification des HUMS

L'approche propose les éléments essentiels pour spécifier un HUMS, elle est décomposée selon les trois visions :

- Vision fonctionnelle : Rappels sur notion HUMS, Porteur du besoin, Stratégie recherchée, Expression du besoin, Contexte et contraintes
- Vision organisationnelle
 - Conception du HUMS : équipe, compétences, gestion projet
 - Exploitation du HUMS : gestion du changement dans organisation de maintenance du système principal monitoré.
- Vision technique : selon les différentes fonctions principales des HUMS ; se reporter en particulier sur les autres tâches du projet.

Identification des données utiles à collecter pour la mise en place des HUMS

Lors de la sélection des données à surveiller, il est possible de s'intéresser à des facteurs qui mettent en évidence les conséquences d'une défaillance (pour améliorer ainsi la fonction diagnostic) tout comme des paramètres qui jouent un rôle dans l'apparition d'une défaillance (pour augmenter la précision du pronostic).

Les données collectables sont très diverses en forme, en type de données, en mode et moyens de capture et de transmission, etc. Ces données doivent être resynchronisées temporellement, homogénéisées, qualifiées et pondérées dans le but ensuite d'agrégation et de fusion. Il est, par ailleurs, important de bien savoir au départ ce que l'on souhaite précisément faire de ces données.

À tous niveaux, la qualité des données récoltées (et traitées) est à questionner et définir. Il est ainsi très important de pouvoir assurer la continuité de la chaîne numérique sans interruption pour être en possession de données les plus représentatives pour la surveillance, le diagnostic des défaillances, le pronostic ou le bilan de santé des systèmes ciblés.

Le projet propose des exemples concrets d'informations collectées et d'indicateurs fournis pour différents types de systèmes ciblés. À noter qu'il n'y a pas de relations entre quantité de données collectées et nombre d'indicateurs calculés.

Les données sont stockées et historisées dans des bases de données qui doivent être adaptées à la quantité de données et aux modes de traitement (notions de bases SQL ou NoSQL, d'HADOOP, de « big data », etc.).

Identification des traitements pouvant être réalisés sur les données collectées

Le retour d'expérience (notamment des personnels de maintenance) est d'une grande importance en matière de diagnostic ou de pronostic.

Le projet aborde à la fois des traitements basés sur des modèles physiques (model-based), que des modèles de simulation, que des modèles basés sur les données (data-driven), que des règles expertes que des traitements d'inférence sur des ontologies cognitives.

Les différentes attentes et les différents besoins font apparaître au moins trois niveaux de traitement des données (et de fonctionnalités) : composants, systèmes, flottes / parcs.

Les différentes approches de pronostic doivent être mises en regard du ou des résultats attendus notamment sur les items suivants :

- Horizon du pronostic
- Domaine d'application
- Niveau de décision
- Périmètre
- Réactualisation des données
- Dynamique du phénomène
- Niveau de détail
- Données d'entrées

Le projet propose ensuite des critères de choix / d'applicabilité des différentes approches de traitement des données en tenant compte des niveaux de TRL.

À noter que la plupart des produits du commerce ont des applications liées à l'aéronautique, secteur qui a mesuré très tôt l'importance de systèmes types HUMS. Les principales approches de pronostic de ces produits sont data-driven, ce qui montre une certaine avance de ce type d'approche.

Définition du processus de passage du diagnostic au pronostic

Le couplage diagnostic / pronostic est perçu prioritairement du diagnostic vers le pronostic s'appuyant en amont sur une fourniture de données « filtrées et qualifiées » et fournissant en aval généralement un RUL (Remaining Useful Life) avec un degré de confiance.

Le projet s'est focalisé sur 63 cas illustratifs de ce couplage et propose une classification de caractéristiques essentielles du couplage. La majeure partie de ces cas est relative à des couplages portant sur le diagnostic / pronostic de composants particuliers.

L'analyse des caractéristiques de cet échantillon permet de faire remonter des éléments pertinents à considérer dans le cadre de spécification de HUMS selon les différents types de modèles / méthodes utilisés.

Ces modèles / méthodes ont été structurées en 4 classes :

- Approche basée sur l'expérience,
- Approche basée sur des données,
- Approche basée sur les modèles,
- Approches hybrides (combinaison des 3 premières).

L'approche à base de modèles est appliquée dans le cas où les informations disponibles permettent de construire un modèle du comportement réel du système monitoré. Les méthodes guidées par les données sont utilisées dans le cas où on dispose des données de surveillance issues des mesures des capteurs ou interventions de maintenances sans le modèle du système / composant monitoré. La vision hybride est à comprendre comme une approche combinant des méthodes, par exemple, dans le cas où on dispose des données de l'expérience et du modèle physique.

Fourniture d'un guide de bonnes pratiques

Sur la base des travaux et réflexions du projet, un guide de bonnes pratiques a été élaboré à destination de tout industriel souhaitant se renseigner, spécifier ou concevoir des HUMS. Ce guide propose les questions essentielles à se poser afin de contribuer à la réussite du projet HUMS mené.