HUMS -Health & Usage Monitoring System -état de l'art et opportunités HUMS -Health & Usage Monitoring System -state of art and opportunities

Michel Weinechter, Rémi Parouty, André Cabarbaye, François Farago, Emmanuel Remy, Vianney Bordeau, Naoëlle Matahri, Leila Marle, Joffrey Cardon, Ahmed Adjadj, et al.

▶ **To cite this version:**

Michel Weinechter, Rémi Parouty, André Cabarbaye, François Farago, Emmanuel Remy, et al.. HUMS -Health & Usage Monitoring System -état de l'art et opportunités HUMS -Health & Usage Monitoring System -state of art and opportunities. Congrès Lambda Mu 21 " Maîtrise des risques et transformation numérique : opportunités et menaces ", Oct 2018, Reims, France. hal-02074480

HAL Id: hal-02074480
https://hal.science/hal-02074480

Submitted on 1 Apr 2019

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.

HUMS – Health & Usage Monitoring System – état de l'art et opportunités

HUMS – Health & Usage Monitoring System – state of art and opportunities

WEINECHTER Michel
THALES
33700 MERIGNAC

PAROUTY Rémi
SECTOR
91965 COURTABOEUF

CABARBAYE André, FARAGO François (CNES), REMY Emmanuel (EDF), BORDEAU Vianney (RATP), MATAHRI Naoëlle (IRSN), MARLE Leila (ENGIE), CARDON Joffrey (DGA), ADJADJ Ahmed (INERIS), COLIN Bruno (NEXTER), IUNG Benoît (CRAN), LEGER Jean-Baptiste (PREDICT), BARBET Jean-François (SECTOR)

Résumé

Cette communication présente les travaux du projet IMdR P15-2 « HUMS » ayant été réalisé entre 2016 et 2017 et les opportunités des HUMS.
Les souscripteurs au projet ont des regards variés sur les HUMS étant d'activités diverses et complémentaires : exploitants, commanditaires, systémiers, appuis aux tutelles. De fait, leurs attentes sont à plusieurs niveaux sur les HUMS : base de connaissance, concepts et informations pratiques.
Les principales tâches du projet sont :
- un état de l'art,
- la construction d'un processus de spécification,
- une synthèse sur les données utiles à collecter,
- une réflexion sur le lien diagnostic / pronostic,
- un guide pratique.

Summary

This paper presents the work of the IMdR project P15-2 "HUMS" carried out in 2016-2017 and the opportunities of the HUMS.
The subscribers at this project present various points of view on HUMS considering their different and complementary business: operators, sponsor, systems maker, administrative authorities' support. Thus, their expectations are at different levels: knowledge base, concept and practical information.
The main tasks during the project are:
- A state of the art,
- The development of a specification process,
- An overview about useful data to be collected,
- A consideration about the link diagnostic / prognostic,
- A practical guide book.

1. Contexte du projet

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.
Pour les souscripteurs, les objectifs principaux du projet sont les suivants :
- Clarifier la vision sur les HUMS.
- Des résultats concrets utilisables par des ingénieurs pour la mise en œuvre de HUMS.
- Une prise de connaissance.
- Comment utiliser les données existantes ?
- Intérêt et opportunités des HUMS.
- Intégrer la variabilité des conditions d'utilisation des systèmes.

Ces souscripteurs ont des regards variés sur les HUMS étant d'activités diverses et complémentaires : exploitants, commanditaires, systémiers, appuis aux tutelles. De fait, leurs attentes sont à plusieurs niveaux sur les HUMS :
- Base de connaissance.
- Concepts.
- Informations pratiques.

2. Organisation du projet

Les travaux du projet ont été menés par les sociétés PREDICT et SECTOR associées au centre de recherche en automatique de Nancy (CRAN).
Pour répondre aux attentes exprimées, le projet s'est organisé autour de différents points de vue :
- Un état de l'art qui a permis de recenser l'avancement des différents domaines industriels en mettant l'accent sur les méthodes et outils de traitements des données.
- Un processus de spécification des HUMS a été proposé à partir des expériences identifiées dans l'état des lieux.
- Une synthèse sur l'identification des données utiles à collecter pour la mise en place des HUMS et des traitements pouvant être réalisés sur les données collectées a abouti à la caractérisation générale des principales typologies de méthodes de traitement des données.
- Une réflexion a été menée sur le lien entre diagnostic et pronostic, car un des objectifs attendus des outils de type HUMS est de proposer une aide à l'anticipation de la maintenance.
- Enfin, un guide pratique de bonnes pratiques a été rédigé proposant les sujets principaux à aborder dans le cadre d'un projet HUMS.

L'ensemble du projet se veut à la fois pratique (en premier lieu) et aussi exhaustif que possible. Le rapport de projet contient de nombreuses références auxquelles se reporter pour approfondir les différents éléments et composantes des HUMS. Le guide pratique propose un condensé des éléments utiles à aborder et s'adresse aux différentes visions sur les HUMS comme point d'entrée.

Notons que ce projet a considéré trois niveaux de vision pour aborder les HUMS et permettant de répondre aux diverses attentes :
- La vision fonctionnelle qui permet d'aborder les finalités attendues des HUMS, la stratégie associée, la notion de ROI (retour sur investissement).
- La vision organisationnelle qui concerne aussi bien l'organisation d'un projet de conception que celle de l'exploitation maintenance.
- La vision technique pour aborder les modèles et algorithmes en support.

3. Définition et état de l'art

3.1 Principe HUMS

Un HUMS est un système associé à un dispositif « monitoré » (hélicoptère, usine, machine, véhicule, …) généralement avec une partie embarquée dans le dispositif monitoré et une partie au sol. Il réalise un état de santé du dispositif monitoré et un diagnostic. Il propose alors un pronostic des défaillances naissantes sélectionnées (notion de RUL – Remaining Useful Life).
À partir de là, il propose une aide à la décision pour la maintenance et l'exploitation qui devront prendre en compte voire adapter les conditions opérationnelles futures. Les contraintes de coûts / investissements font cibler les composants critiques identifiés à partir des analyses de fiabilité ou à partir de l'expérience.
Le cœur du HUMS repose sur l'analyse de données issues du système monitoré et éventuellement d'autres sources, impliquant la collecte des données, leur prétraitement, transfert, mémorisation, etc.
L'analyse des données peut être faite à partir de modèles physiques et ne pas nécessiter un grand nombre de données (model driven). Inversement l'exploitation de nombreuses données (nombreux équipements similaires, historiques importants) peut permettre l'analyse des données sans modèle physique (data driven).
Enfin, l'aspect ergonomie de l'outil doit être pris en compte.
La gestion des données est un point de vigilance aussi bien pour la performance de l'outil (confiance dans la prédiction de maintenance) que pour la sécurité des données (cybersécurité).

Les éléments de définition d'un HUMS peuvent être :

- Un HUMS est associé à un système plus global qu'il monitore et analyse les données associées
- C'est un système en lui-même, généralement avec une partie embarquée sur le système monitoré et une partie déportée « au sol »
- Il réalise un diagnostic du système monitoré et en propose un état de santé
- Il propose un pronostic des défaillances naissantes sélectionnées, via par exemple l'évaluation de RUL : Remaining Useful Life
- Il propose une aide à la décision pour la maintenance et l'exploitation
- Il est ciblé sur les composant critiques
- Il repose sur l'analyse de données impliquant leur collecte, prétraitement, transfert, mémorisation, etc.

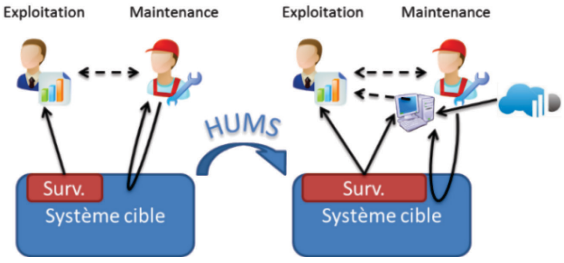

Figure 1. Principes HUMS

La figure 1 présente l'impact générique technique et organisationnel d'un HUMS sur un système cible.
D'autres terminologies peuvent apparaitre pour désigner des dispositifs ou des approches similaires aux HUMS :

- HMS / UMS : Health / Usage Monitoring System
- PHM : Prognostics and Health Management
- IVHM : Integrated Vehicule Health Management
- SHM : Structural Health Monitoring
- VHM : Vibration Health Monitoring
- FDM : Flight Data Monitoring
- CBM : Condition Based Maintenance

Figure 2. Univers HUMS

3.2 Vision fonctionnelle

Selon la considération fonctionnelle, les HUMS sont caractérisables par quatre 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.

On retrouve de nombreuses décompositions fonctionnelles des HUMS au sein de la littérature. En voici quelques exemples (figures 3 et 4).

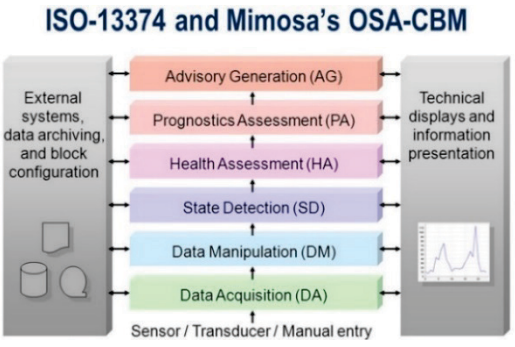

Figure 3. Fonctionnalités HUMS selon ISO 13374

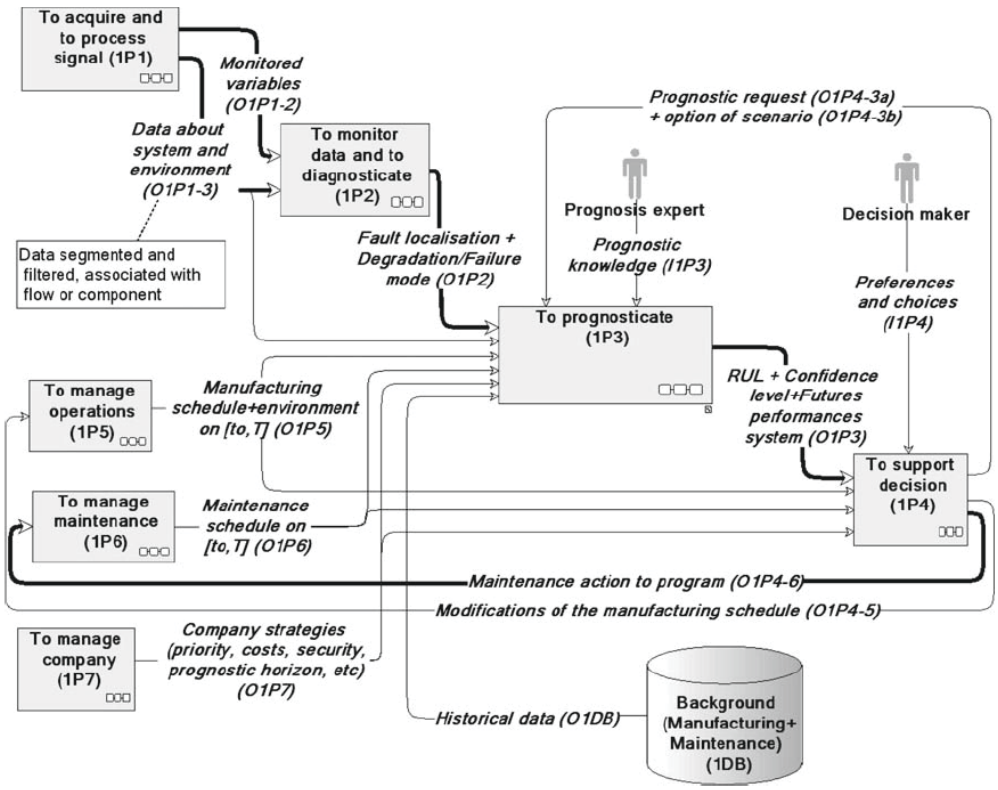

Figure 4. Fonctionnalités HUMS selon Voisin *et al.*

3.3 Vision technique

Sur l'aspect applicatif, les hélicoptères ont constitué les premières cibles historiques pour le développement des HUMS et la mise en œuvre partielle ou totale de ces fonctionnalités.
Une partie du dispositif est embarquée sur l'hélicoptère (capteurs de vibrations et un premier niveau d'analyse des données collectées). Un dispositif permet de transmettre les données prétraitées vers une station au sol réalisant le stockage des données, leur traitement et analyse puis l'émission d'indicateurs de diagnostic et de pronostic.
La prise de décision à partir des résultats du HUMS implique des impacts sur le système de maintenance des hélicoptères.

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).

D'un point de vue architecture, 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 contre 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).

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

4.1 Contexte normatif

Les divers logiciels élaborés pour la surveillance et les diagnostics sur l'état des machines et actuellement utilisés ne peuvent pas facilement échanger des données ou être prêts à l'emploi sans un large effort d'intégration. Il est donc difficile d'intégrer des systèmes et de fournir aux utilisateurs une vision uniforme de l'état des machines.

La norme ISO-13374 « Surveillance et diagnostic d'état des machines » propose les exigences de base pour les spécifications de logiciels ouverts :
- Traiter
- Échanger
- Afficher les données et informations relatives à la surveillance des machines à l'aide de divers progiciels
- Sans protocoles propres à une plate-forme ou à un matériel

La partie ISO 13374-1:2003 établit les lignes directrices générales des spécifications de logiciels portant sur le traitement, l'échange et la présentation de données

relatives à la surveillance et au diagnostic d'état des machines.
La partie ISO 13374-2:2007 décrit de manière détaillée les exigences relatives à un modèle d'information de référence et à un modèle de traitement de référence auxquelles une architecture ouverte de surveillance et de diagnostic de l'état des machines (Condition Monitoring and Diagnostic, CM&D) doit se conformer. Les professionnels de la conception logicielle ont à la fois besoin d'un modèle d'information et d'un modèle de traitement pour décrire de manière appropriée toutes les exigences relatives au traitement des données. Cette partie de l'ISO 13374 facilite l'interopérabilité des systèmes CM&D.

Le standard OSA-CBM (Open System Architecture for Condition-Based Maintenance ou Système d'Architecture Ouvert pour la Maintenance Conditionnelle) a été établi par l'Alliance MIMOSA (Machinery Information Management Open System Alliance) regroupant au niveau international des utilisateurs comme Boeing, GE Aviation Systems, SAP, Rockwell, Yokogawa, …
L'OSA-CBM est une implémentation de la spécification fonctionnelle ISO-13374. L'OSA-CBM ajoute des structures de données et définit des méthodes d'interface pour les blocs de fonctionnalité définis par la norme ISO 13374.

4.2 Données

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 formes, en types de données, en modes 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 chaine 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.).

4.3 Exemple de données à collecter

À titre d'exemples concrets, des tableaux sont présentés proposant un recensement de plusieurs types de systèmes monitorés ou d'équipements mettant en regard les paramètres suivis et les données générées par les systèmes d'acquisition exploités sur le terrain.
Donc ces tableaux (exemple figure 5) font apparaître :

- Le système monitoré générique (SSC)
- La déclinaison en type d'équipements
- Les fourchettes de caractéristiques de dimensionnement des équipements
- Les paramètres suivis sur ces équipements
- Les paramètres des conditions contextuelles
- Les surveillances mises en place alimentant les systèmes HUMS
- Les capteurs utilisés à disposition
- La fourchette du nombre de données générées
- La fourchette des fréquences d'acquisition rencontrées
- Un calcul indiquant une fourchette de volume de données dans des conditions hypothétiques de fonctionnement 24h/24h tous les jours d'une année

Classe	Enumération
SSC	Machines thermiques
Type	Diesel Electrique ; Diesel de Secours ; Diesel de Propulsion ; …
Caractéristiques	De 240 kW à 1 500 kW et de 800 Nm à 7 500 Nm
Paramètres	Vitesse ; Couple ; Puissance mécanique ; Puissance électrique ; Pression d'huile ; Pression de suralimentation ; t°C ; …
Contexte d'utilisation	Température local ; Humidité ambiante ; Particules ambiantes ; Conditions de transports, stockage ; Ambiance atmosphérique (saline, acide, …)
Surveillances	Caractéristiques moteur ; Rendement mécanique ; Cartographie thermique ; Consommation gasoil ; Variation de pression d'huile ; …
Capteurs	Tachymètre ; Couple ; Sonde ; Thermocouple ; Capteur de pression ; Compteur temporel, …
Nombre de données	De 4 à 50 données
Fréquence d'acquisition	De 500 ms à 10 mn
Volume estimatif 24h/24 365j/365	De 210 kB/an jusqu'à 3 GB/AN

Figure 5. Exemple de tableau de description des données à collecter

5. Passage du diagnostic au pronostic

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

5.1 Contexte et positionnement

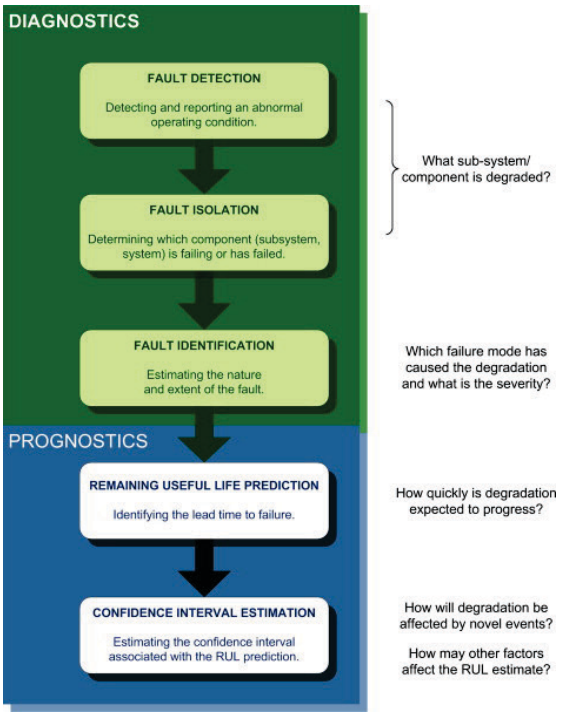

Figure 6. Positionnement diagnostic / pronostic (Sikorska *et al.*)

Le couplage diagnostic / pronostic est perçu prioritairement du diagnostic vers le pronostic (figure 6) s'appuyant en amont sur une fourniture de données « filtrées et qualifiées » et fournissant en aval généralement une RUL (Remaining Useful Life) avec un degré de confiance.

Le cadre du diagnostic est de détecter, identifier et isoler la présence d'une faute ou dégradation (à partir des données « filtrées et qualifiées ») sur un matériel (système / composant) le plus tôt possible (caractériser un état de santé actuel du matériel).

Le pronostic quant à lui permet de prédire la durée de vie de ce matériel (l'évolution de son état de santé – notion de RUL) en considérant la dynamique de cette faute (prédiction avec un certain degré de confiance) en s'appuyant sur les résultats de l'identification réalisée par le diagnostic (mode de défaillance ayant causé la faute / dégradation, sévérité de cette dégradation).
À noter que le pronostic peut aussi s'exécuter indépendamment de la présence d'une faute.

5.2 Classification des méthodes

Le projet s'est focalisé sur 63 cas illustratifs de ce couplage et propose une classification des 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.
De nombreuses technologies numériques (méthodes, techniques) existent pour développer les fonctions de diagnostic et pronostic au sens de la nécessaire description (et exécution) de leur comportement. Ces technologies sont donc généralement différentiées en regard des « connaissances » disponibles sur le composant ou système monitoré et qui doit être diagnostiqué et / ou pronostiqué. Cette connaissance peut être représentée par :

- Des données collectées (en temps réel) sur le composant / système ciblé,
- Un historique ou un retour d'expérience disponible sur le composant / système ciblé,
- Un modèle connu ou estimé du comportement du composant / système ciblé.

Les données collectées se réfèrent à une surveillance en ligne du système. Les aspects historique, retour d'expérience, ou modèle « connu » sont plutôt à exploiter pour disposer d'une référence illustrant le fonctionnement normal ou anormal du système.

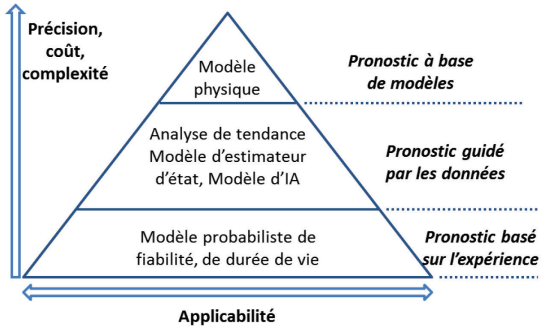

Figure 7. Typologies des approches de pronostic

Ces modèles / méthodes ont été structurés 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 (modèle physique / représentation mathématique des mécanismes de dégradation).
Les méthodes guidées par les données sont utilisées dans le cas où on dispose des données de surveillance issues des mesures des capteurs (instrumentation adaptée) ou interventions de maintenance sans le modèle du système / composant monitoré.
La seule alternative possible lorsque les deux approches ci-dessous ne peuvent être mises en place est une approche basée sur l'expérience ou une approche empirique formalisant de façon qualitative des règles d'évolution et des facteurs d'impact, en faisant appel à une loi de fiabilité R(t) ou à un processus de détérioration {Xt} établi à partir du retour d'expérience ou de connaissances expertes.

Les technologies à base de modèles n'ont pas besoin de données historiques pour estimer l'état du système une fois que le modèle est connu. Par contre elles nécessitent une connaissance approfondie des processus physiques sous-jacents qui conduisent à la défaillance du composant / système monitoré. En ce sens, il est difficile dans certains cas de créer des modèles représentant les multiples processus physiques rencontrés nécessitant de construire plusieurs modèles représentatifs chacun d'une partie du problème. Ces modèles sont généralement coûteux en temps mais aussi en niveau de compétences des concepteurs / développeurs.

L'avantage des technologies guidées par les données est leur capacité à apprendre le comportement d'un système uniquement à partir des données collectées sans autre connaissance. De plus, elles s'adaptent à tout type d'applications disposant de données suffisantes en qualité et en quantité. Cependant, elles dépendent fortement de la qualité et de la représentativité des données de capteurs (utilisées en partie pour créer la référence) et permettant de déterminer les corrélations, les tendances menant à la défaillance.

L'avantage des technologies fondées sur l'expérience est qu'elles ne requièrent pas de connaissances précises sur les mécanismes de dégradations des éléments monitorés. Elles utilisent des modèles simples plutôt que des modèles mathématiques complexes. L'inconvénient de ce type de méthodes est qu'il est difficile de disposer d'un historique d'expérience passé représentatif de toutes les conditions d'utilisation des systèmes. De plus, ces méthodes manquent de réactivité face au changement de comportement d'un système. Elles sont également moins précises que les 2 autres typologies.

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.

Il convient de noter que les modèles issus de l'expérience ou des données peuvent conduire à la mise au point de modèles physiques moins coûteux en ressources informatiques.

Quelle que soit la typologie d'approche mise en œuvre, le retour d'expérience (notamment du personnel de maintenance et des experts techniques) est d'une grande importance en matière de diagnostic ou de pronostic.

5.3 Applications industrielles

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 type HUMS. Les principales approches de pronostic de ces produits sont data-driven, ce qui montre une certaine avance de ce type d'approches.
Des matrices sont proposées pour chaque item ci-dessus pour indiquer le niveau général d'applicabilité des différentes technologies identifiées. Voici un exemple pour l'item « périmètre – dimension du système monitoré » (figure 8) :

Dimension Système Appropriée → / Technologie Exploitable pour le Pronostic ↓	Composant	Equipement	Sous-Système	Système	Système de Systèmes
Approche probabiliste (ex. Weibull)					
Approche markovienne (ex. graphe de Markov)					
Approche statistique/analytique (ex. fouille de données)					
Approche neuronale (ex. réseaux de neurones)					
Approche par modélisation physique					
Approche probabiliste conditionnelle (ex. Réseaux bayésiens)					
Approche prédictive (ex. estimateur)					
Approche par connaissances (ex. raisonnement à base de cas)					
Approche floue (ex. logique floue)					
Approche par graphe / hypergraphe					
Approche par règles (ex. abduction)					
Approche structurelle (ex. dépendance de variables)					
Approche génétique (ex. algorithme génétique)	A évaluer ultérieurement				
Approche multi-modèles					

Figure 8. Applicabilité des technologies de pronostic selon la dimension du système monitoré

6. 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,
  - Diversité des points de vue,
  - Porteur du besoin,
  - Stratégie recherchée,
  - Expression du besoin,
  - Marché, contexte et contraintes
- Vision organisationnelle :
  - Conception du HUMS : équipe, compétences, gestion projet
  - Exploitation du HUMS : gestion du changement dans l'organisation de maintenance du système principal monitoré.
- Vision technique :
  - Architecture / structure,
  - Les différentes sous-fonctions.

6.1 Objectifs

Il est important de bien définir l'objectif attendu du dispositif HUMS.
L'objectif principal des HUMS est la maitrise de l'activité maintenance du système cible en espérant à la fois diminuer les coûts de maintenance et améliorer les performances du système cible en augmentant la part de maintenance conditionnelle et prédictive.
Il existe de nombreux autres gains potentiels selon les projets pour la maintenance et l'exploitation du système cible en fonction du positionnement de l'industriel vis-à-vis des activités d'exploitation et maintenance :

- Adaptation / optimisation de la conduite du système,
- Maitrise de la sécurité du système monitoré,
- Optimisation de la gestion de flottes,
- L'amélioration de service,
- Pour la conception des futurs systèmes,
- Support à des formations pratiques,
- Optimisation de l'infrastructure de soutien,
- Amélioration des impacts environnementaux,
- Dépôt de brevets, …

6.2 Contexte et contraintes

L'implémentation d'un dispositif HUMS doit prendre en compte le contexte dans lequel il s'inscrit et les contraintes associées. Sans exhaustivité :

- Le système ciblé, son utilisation, son environnement, ses contraintes : le dispositif HUMS ne peut être dissocié de son système cible physiquement et fonctionnellement.
- Les composants critiques : les exigences (dont fiabilité et sécurité) sur ces composants se reportent également sur le HUMS.
- Système nouveau / existant : Équiper un système nouveau avec une conception parallèle du HUMS et du système permet de potentielles adaptations croisées entre système et HUMS. Lorsque le système cible est déjà en exploitation seul, le HUMS doit s'adapter.
- Phases de vie ciblées : L'utilisation du HUMS vise prioritairement la phase d'exploitation du système cible mais peut viser aussi les phases de réalisation / stockage ou démantèlement.
- Les parties prenantes, l'utilisateur du HUMS : Les parties prenantes autour du projet HUMS sont autant de demandeurs de fonctions pour le HUMS. L'utilisateur effectif du HUMS et de son interface doit particulièrement être pris en compte pour adapter le format des résultats du HUMS.
- Fonctions similaires de surveillance : Il peut déjà exister des fonctions de surveillance dans le système cible qui pourraient être réutilisées par le HUMS.
- Exigences RAMS : Les exigences RAMS du système cible se répercutent sur le HUMS qui doit donc avoir lui-même des exigences RAMS.
- Brevets, normes, règlementation : autant d'éléments qui peuvent contre venir aux projet HUMS.
- Compatibilité contractuelle avec le fournisseur du système cible : Il faut s'assurer que l'utilisation du HUMS en phase d'exploitation du système est compatible avec les engagements du fournisseur (par exemple sur les garanties).
- Sécurité des données : La sécurité des données générées et manipulées par le HUMS est un point particulièrement sensible car elles peuvent être l'objet de malveillance. La gestion des données, leur possession, leur utilisation, leur diffusion doivent être définies clairement entre les différentes parties prenantes.
- Utilisation des moyens disponibles et Coûts : L'équilibre doit être trouvé entre coûts et gains sachant qu'un projet HUMS peut nécessiter au départ des ressources et moyens relativement importants

- Limite de prédiction : les cinétiques de dégradation (notamment celles particulièrement rapides) de certains composants peuvent limiter l'intérêt d'une prédiction.
- Mise à jour logicielle du HUMS : les technologies numériques de traitement de données ont tendance à évoluer particulièrement rapidement et doivent donc être mises à jour.

6.3 Organisations

6.3.1 En conception d'un HUMS

De nombreuses compétences sont nécessaires selon les fonctions principales des HUMS :

- Capteurs
- Traitement du signal
- Internet des objets
- Protection des données
- Stockage des données
- Modélisation
- Physique du composant
- Big data
- IHM / ergonomie
- Maitrise des risques / coûts
- Maintenance
- Communication / gestion de projet
- RH, contractuel, juridique, …

L'ergonomie de l'IHM envers l'utilisateur effectif du HUMS revêt une importance particulière.
Ne pas oublier les systèmes d'information en interface avec le dispositif HUMS.
La communication à l'intérieur du projet HUMS et vers l'extérieur permet de faire adhérer au plus tôt les différentes parties prenantes aux principes HUMS.
En tant qu'outil d'aide à la décision, il faut anticiper la part de responsabilité du HUMS vis-à-vis de l'exploitant et du mainteneur du système cible.

6.3.2 En exploitation d'un HUMS

L'approche maintenance prévisionnelle supportée par les HUMS implique un changement de philosophie de maintenance en passant :

- D'une maintenance préventive systématique où le contenu des interventions est globalement figé et où la planification des interventions est stable et prévisible dans le temps
- À une maintenance prévisionnelle où les interventions de maintenance doivent s'adapter aussi bien en contenu qu'en planification.

Au sein de l'organisation de maintenance, avec la mise en œuvre de HUMS, de nouvelles activités apparaissent ou sont développées :

- Surveillance des indicateurs HUMS,
- Analyse des indicateurs HUMS,
- Prise de décision des interventions de maintenance à réaliser et / ou des impacts à répercuter sur l'exploitation,
- Échange régulier avec l'exploitation pour planifier les interventions de maintenance et adapter l'exploitation,
- Préparation d'interventions de maintenance ciblées,
- Maintenance du dispositif HUMS et support informatique associé.

L'activité étant moins prévisible, il y a également un impact sur le management de l'activité maintenance qui doit gérer en continu les éventuelles fluctuations d'activités.
L'adaptation continue du planning de maintenance nécessite un contact permanent avec l'exploitation pour valider les mises à disposition du système cible. De plus, les informations du HUMS peuvent avoir une influence sur les activités d'exploitation (par exemple limiter ou privilégier certains modes de fonctionnement pour faire durer la performance globale du système).

Il faut noter que les apports des HUMS sont généralement progressifs pour la maintenance :

- Il s'agit en premier lieu de limiter la maintenance corrective,
- Les résultats HUMS permettent ensuite de construire l'argumentaire pour faire évoluer la maintenance préventive,
- Et enfin, les résultats HUMS sont utilisés pour piloter les activités de maintenance conditionnelle et prévisionnelle.

6.4 Responsabilités

Si de nombreux projets HUMS sont menés en interne des grands exploitants industriels ou par les fournisseurs principaux des systèmes cibles, la plupart des projets HUMS fait intervenir de nombreuses parties prenantes qui doivent définir leurs responsabilités respectives.
Dans le cadre d'un projet « co-conçu », la fonction HUMS est globalement transversale au système conçu, il faut donc une gestion transversale du HUMS.
Des parties du HUMS peuvent être conçues au niveau des composants par chaque co-concepteur voire sous-traitant. Pour autant la couche transversale est la plus importante et doit être gérée. De plus, il faut nécessairement une coordination des parties physiques du HUMS et des intervenants.

Par rapport à une maintenance « classique » des systèmes industriels reposant sur le plan de maintenance élaboré initialement par le fournisseur et qui sert de base pour maintenir sa garantie ; le HUMS introduit des informations tout au long de la vie du système qui ont tendance à faire évoluer en continue la maintenance. Ces informations pouvant venir de différentes parties prenantes (qui peuvent n'être ni l'exploitant / mainteneur ni le fournisseur), les responsabilités vis-à-vis des performances de maintenance et du système industriel évoluent et doivent donc être clairement établies et partagées.

7. Guide issu du projet

7.1 Principes

Le projet se veut pratique ; 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 et propose des fiches pour les principales technologies de modélisation permettant d'orienter leur mise en œuvre.

7.2 Sommaire du guide

- Présentation et contexte des HUMS
  - Concept & Origine
  - Enjeux majeurs & Questions économiques
- Expression du besoin
  - L'utilisateur & Les parties prenantes
  - Le système cible
  - Contraintes et exigences
- Technologies numériques
  - Catégories de technologies numériques
  - Fiches par technologie représentative
- Aspects organisationnels
  - Conception d'un HUMS
  - Exploitation d'un HUMS
- Aspects environnementaux et sociétaux
  - Efficacité énergétique, écoconception, pollution numérique
  - Gouvernance des données, sécuriser les données, responsabilité sociétale des entreprises

8. Conclusion et perspectives

En conclusion, ce projet a permis :

- Un panorama particulièrement complet des HUMS (au moment de sa réalisation),
- L'identification et l'initialisation de projets HUMS au sein des souscripteurs associés,
- Une prise de conscience pour :
  - Élargir le périmètre technologie monitoré (composant → système),
  - Améliorer le pronostic (technologies numériques),
  - Justifier la confiance à avoir dans les résultats HUMS,
  - Les contraintes fortes sur la sécurité des données,
- Le développement du champ de la sûreté de fonctionnement pour adapter et cibler les HUMS et les activités de maintenance.

Vis-à-vis des souscripteurs au projet, les résultats leur permettent d'envisager les opportunités suivantes selon leur vision initiale des HUMS :

- Définir un besoin pertinent en termes de HUMS (en interne et pour les fournisseurs),
- Utiliser les données déjà collectées (et finalement encore peu valorisées),
- Rendre plus sûres l'exploitation et la maintenance de flottes (camions, bus, hélicoptères, véhicules militaires, etc.),
- Assurer la promotion des systèmes HUMS (auprès de la Direction, des clients),
- Envisager une offre de service de maintenance performante (en complément de la vente de ses produits),
- S'approprier et comprendre les caractéristiques clés des HUMS et les objectifs associés…

Références

Rapport du projet IMdR P15-2 « HUMS », mai 2017

IHST, « Health and Usage Monitoring Systems Toolkit », International Helicopter Safety Team

Department of Defense USA, « Condition Based Maintenance Plus (CBM+) DoD Guidebook », mai 2008.

Association DIAG21, Livre blanc : pronostic – mythe, réalité ou opportunité. 2013

R. Mukkamala et all, « Integration of communication and computational architectures for HUMS », in Digital Avionics Systems Conference. DASC 04. The 23rd, 2004, vol. 2, p. 7.E.1-71-11 Vol.2.

Ian K. Jennions, Éd., Integrated vehicle health management. Perspectives on an emerging field. Warrendale, Pennsylvania, USA: SAE International, 2011

« MIMOSA OSA-CBM | MIMOSA ». [En ligne]. http://www.mimosa.org/mimosa-osa-cbm.

A. Voisin, E. Levrat, P. Cocheteux, et B. Iung, « Generic prognosis model for proactive maintenance decision support: application to pre-industrial e-maintenance test bed », *J. Intell. Manuf.*, vol. 21, n° 2, p. 177-193, avr. 2010

J. Z. Sikorska, M. Hodkiewicz, et L. Ma, « Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry », *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 25, n° 5, p. 1803-1836, juillet 2011.