

FMDS basé sur les modèles

El Hacem Boulkheir

Mars 2020

1 Introduction

Il existe plusieurs façon d'optimiser les performances tout au long de cycle de vie en maintenant le niveau de la Sécurité. Une approche est possible qui consiste a surveiller les performance de la sûreté de fonctionnement (Fiabilité, maintenabilité, Disponibilité et sécurité) des systèmes, sur la base des exigences prédéfinies. Cette méthodologie est largement utilisée dans de nombreux secteurs (ferroviaire, défense, aérospatial...).

L'utilisation des modèles formels dans l'industrie représente une évolution majeure des méthodes de travail. Un modèle est une représentation abstraite d'un objet : seules les informations pertinentes pour l'étude à mener sont prises en compte dans la spécification de l'objet .

Un modèle formel est une traduction de la spécification d'un objet dans un langage formel. Les outils informatiques associés au langage formel, permettent d'étudier certaines caractéristiques d'un objet sans avoir à le fabriquer. Ainsi, par exemple, un système peut être simulé pour en étudier son comportement.

Les modèles formels présentent de nombreux avantages pour l'industrie. Lorsque plusieurs interlocuteurs partagent des informations, formaliser ces dernières permet de prévenir toute interprétation pouvant conduire à une mauvaise compréhension. De plus, les outils de modélisation tirent profit de la puissance de calcul des ordinateurs pour traiter de grandes quantités de données, là où un ingénieur devrait choisir les calculs à effectuer.

2 Modèles basés sur la FMDS (MBRAMS)

L'objectif principale des Modèles basés sur la FMDS est d'évaluer l'intérêt et l'application d'une approche basée sur le modèle afin d'analyser la fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité et d'améliorer les activités de l'ingénierie tout au long du cycle de vie.

Idéalement l'approche de la RAMS doit être adopté pour chaque système du début jusqu'à la fin du cycle de vie. La norme RAMS se fonde sur une approche qui comprend plusieurs phases du cycle de vie d'un système.

Le cycle de vie d'un système comprend essentiellement 3 grandes étapes : Conception, Installation et Opération. Ces¹³ étapes consistent a identifier les exigences d'un système en terme de la FMDS et maintenir le niveau requis de la FMDS tout au longue de cycle de vie de système en différents phases, et ces phases sont :

- **Phase 1 : Concept/Définition**

définition des exigences de gestion RAMS pour les différents phases ultérieures du cycle de vie.

- **Phase 7 : Validation du système**
On valide le système si les exigences de la RAMS sont respectés (pour le système en entier et les sous-systèmes).
- **Phase 8 : Acceptation du système**
Elle consiste a la finalisation de la réception de chaque système pour la mise en service.
- **Phase 9 : Opération, Maintenance et suivi des performances**
Dans cette phase on doit maintenir et exploiter le système de tel façon que les performances de la RAMS devraient être suivi et traiter tout problème identifier.
- **Phase 10 : Mise hors service**
C'est la phase finale de cycle de vie et c'est la mise hors service du système

2.1 Définition de la FMDS

La Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité et Sécurité (FMDS) des systèmes sont les facteurs essentielles pour traiter la mesure de performance en utilisant des techniques d'ingénierie, des outils afin d'identifier, analyser les défaillances d'un système qui empêchent la réalisation de leur objective.

L'analyse de la fiabilité est indispensable a toute étude de sûreté de fonctionnement . A la base, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public":Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques. . . .

On peut définir les termes fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité et sécurité comme suit :

2.2 Fiabilité

La fiabilité elle est défini comme étant la probabilité pour que le Système S ne tombe pas en panne tout au longue d'une période $(0,t)$ d'exploitation prescrite. La fiabilité s'est développer ses dernières années elle est vite devenue une science très utile dans les applications appartenant à de nombreux domaines. Elle a pour fondements mathématiques la statistique et le calcul des probabilités qui sont nécessaires à la compréhension et à l'analyse des données de fiabilité.

Pour évaluer la fiabilité d'un dispositif :

- Au niveau de la conception, il est important de disposer de méthodes permettant de prédire la fiabilité pour répondre à un cahier des charges, choisir des solutions homogènes, réaliser un objectif au coût minimum (une meilleure fiabilité accroît les coûts de production mais permet des économies en exploitation).
- Au niveau de l'exploitation il est nécessaire de :
 - Vérifier que le système se comporte normalement dans le cas contraire trouver la cause des anomalies.
 - Améliorer la connaissance des données de fiabilité, les contraintes de fiabilité peuvent avoir des incidences sur l'exploitation du matériel.

$$R(t) = P[S \text{ non défaillant sur } (0, t)] \quad (1)$$

La non fiabilité (Défaillance) est défini pour tout $t \geq 0$ par :

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (2)$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (3)$$

La densité de probabilité $f(t)$ c'est la dérivée de la fonction $F(t)$ alors :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{-dR(t)}{dt} \quad (4)$$

2.2.1 Les indicateurs de la Fiabilité

- **Taux de défaillance :** C'est la probabilité de défaillance à l'instant t à condition qu'il n'y ait pas eu de défaillance avant, c'est donc le rapport entre la densité de probabilité de défaillance et la fiabilité

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5)$$

Physiquement le taux de défaillance caractérise la variation la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps.

$$\lambda = \frac{\text{nombre total de défaillances}}{\text{Duree total de bon fonctionnement}} \quad (6)$$

- **Temps moyen de bon fonctionnement :** La MTBF (Mean Time Between Failures) c'est la moyenne des temps entre deux défaillances. Il correspond à l'espérance de la durée de vie t .

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) \quad (7)$$

Physiquement la MTBF est caractérisé par :

$$MTBF = \frac{\sum(dure\ de\ fonctionnement - dure\ de\ panne)}{nombre\ de\ pannes} \quad (8)$$

Si le taux de défaillance λ est constant alors :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (9)$$

- **Durée moyen de bon fonctionnement :** La MTTF (Mean Time To Failures) c'est l'identique du MTBF sauf qu'il ne considère que la première panne

2.3 La Maintenabilité :

Caractérise la facilité a remettre ou de maintenir un système S en bon état de fonctionnement, cette notion ne peut s'appliquer que pour les systèmes réparables et c'est donc la probabilité pour que le système soit rétabli dans son état normal après une défaillance.

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR (Mean Time To Repair) ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité.

$$MTTR = \frac{Temps\ total\ d'arrt}{Nombre\ d'arrt} \quad (10)$$

Il existe plusieurs type de maintenabilité On distingue :

- **Maintenabilité intrinsèque :** a partir des cahiers de charges en prenant en compte les critères de maintenabilité dès la phase de conception.
- **Maintenabilité prévisionnelle :** Elle dépend de la disponibilité
- **Maintenabilité opérationnelle :** elle sera mesurée à partir des historique d'interventions.

2.4 La Disponibilité :

C'est la probabilité pour que le système S soit non défaillant à l'instant t, pour une bonne disponibilité il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production
- Remettre rapidement le système en bon état s'il tombe en panne.

2.5 Les avantages et les inconvénients de la MBRAMS

L'approche basée sur le modèle, permet d'améliorer la capacité de capturer, d'analyser, de partager, et de gérer l'information associée à la spécification complète d'un système ou d'un produit, a déjà démontré ses avantages pour les activités d'ingénierie système.

Les principaux avantages de la MBRAMS sont :

- Toutes les informations nécessaires pour les différentes activités, y compris les activités RAMS, pourraient être plus facilement capturés et mieux structurés et visualisés.
- La cohérence et la validité des différentes analyses peuvent être garanties, même pendant ces phases où les hypothèses et les conceptions changent fréquemment.
- Des diverses activités, y compris des aspects de fiabilité, peuvent être depuis les premières phases du processus de développement permettant ainsi de choisir les meilleurs l'architecture satellite à partir de l'ingénierie du système et des points de vue de la fiabilité en même temps.
- Bénéficier de la puissance de calcul des outils afin de générer des analyses telles que les analyses d'arbres défectueux, pour vérifier automatiquement certaines règles de conception l'impact de la sécurité : comme la tolérance à la faute ou pour vérifier qu'aucune défaillance pourrait entraîner des conditions de défaillance catastrophique.
- Certaines analyse peuvent être généré automatiquement, ou moins initialisé, par l'outil lui-même afin de réduire la charge de travail de la FMDS.

D'autre part la MBRAMS présente certaines limites comme :

- Si le système à modéliser est trop complexe dans ce cas l'approche basé sur les modèles peut être moins efficace qu'une approche fonctionnelle.
- Les modèles représente notre compréhension du système modéliser et il peut ne pas être valide.
- Une bonne connaissance des outils et des bonnes capacités et de l'expérience dans la modélisation sont nécessaire pour pouvoir améliorer l'efficacité du processus et de la fiabilité.

Pour conclure, l'approche basé sur le modèle est considérée comme une solution prometteuse qui peuvent améliorer les activités d'ingénieries entre le système et les ingénieurs de RAMS .

3 Ingénierie des systèmes basés sur des modèles

L'ingénierie des systèmes à base de modèles (MBSE) est l'application de la formalisation modélisation pour prendre en charge les exigences du système dans les différents phases du système afin d'assurer et de maintenir la cohérence entre la sécurité, les analyses et la définition de conception du système lors du développement du système.

L'intégration de la MBSE permet de faciliter la communication entre les différents parties du projet, Ce langage commun garantit que plus d'ingénieurs de

systèmes peuvent comprendre et utiliser le modèle développé. Mais l'application de MBSE et son intégration dans les environnements existants est une tâche difficile.

Les approches d'ingénierie système basée sur le modèle (MBSE) ont déjà été appliquées différents domaines d'ingénierie et ont démontré leur intérêt et leurs avantages et parmi ses avantages :

- Assurer la communication entre les différentes parties prenantes
- Capacité de gérer la complexité du système en permettant à un modèle système d'être vu dans tout angles, et d'analyser l'impact des changements.
- Amélioration de la qualité du produit en fournissant un modèle clair et précis de la système qui peut être évalué pour la cohérence, la justesse et l'exhaustivité.
- Amélioration de la capture et de la réutilisation des connaissances en capturant l'information de manière plus standardisée.

L'utilisation de MBSE présente quelques problèmes comme :

- Les modèles système de MBSE ne sont pas utiles pour soutenir les processus de simulation. Ils sont utilisés uniquement pour coordonner différents domaines et l'échange de données entre ces domaines comme on avait mentionné précédemment.
- Comme l'avantage d'un modèle système peut s'appliquer dans tout les domaines mais sa génération n'est pas toujours accepté.

On peut conclure que la MBSE est très utile pour vérifier et valider toutes les exigences du système, et permet aussi aux collègues de comprendre facilement les exigences et favorise des normes a chaque type de modèle.

4 PHM

Le PHM(prognostic and Health Henagement) ou pronostics basés sur le modèle c'est des approches qui utilisent des modèles mathématiques du comportement d'un système qui est directement lié aux processus physiques.

Puisque les approches basées sur la physique emploient un modèle de physique décrivant le comportement des dommages tout au long de cycle de vie jusqu'à la validation du modèle qui doit être effectuée car ces modèles contiennent de nombreuses hypothèses et approximations.

Le PHM c'est des méthodes de détection, de diagnostic, de contrôle robustes qui permettent de répondre aux performances prévues permettent aux fabricants de

répondre aux performances prévues (exemple: changements planifiés, nouveaux objectifs de productivité) et non planifiées (exemple: défauts, défaillances). Les PHM s'appliquent à une grande classe de systèmes, L'approche peut être formulée mathématiquement d'une manière claire et précise.

PHM des systèmes d'ingénierie est devenu très important car un dysfonctionnement ou une défaillance peut causer de graves dommages au système, à l'environnement et aux utilisateurs, et peut entraîner une augmentation significative des coûts d'entretien non planifiés. PHM est maintenant reconnue comme une approche efficace et pratique dans le domaine de l'ingénierie. La stratégie de maintenance planifiée fondée sur des données réduit le coût d'inspection, le nombre requis de main-d'œuvre qualifiée, le temps d'arrêt du système, le coût du cycle de vie du système et l'entretien imprévu d'urgence. PHM est identifié comme le meilleur candidat pour améliorer le cycle d'entretien, réduire le coût d'entretien et prolonger la durée de vie globale grâce à des stratégies d'entretien planifiées basées sur l'entreprise. PHM peut également apporter un soutien pour améliorer l'approche de qualification et améliorer la conception des futurs systèmes.

La plupart des applications critiques en matière de sécurité et de mission demandent une surveillance en temps réel comme les avions modernes, les automobiles et ainsi de suite ont une capacité de surveillance substantielle à bord qui est basée sur l'utilisation de données provenant de capteurs en temps réel donc le PHM est capable de répondre à ses exigences (exemple: Par exemple, une voiture électrique fournit la distance de gamme qui peut être atteinte avec le fonctionnement de la batterie fondée sur le PHM en temps réel de la batterie. Un autre exemple est celui des véhicules autonomes sans pilote qui ont intégré le PHM embarqué en temps réel utilisé pour réorganiser la mission et configure à nouveau les contrôles en fonction du diagnostic et de l'information pronostique.

L'une des principaux avantages de la PHM est que les modèles de systèmes complexes peuvent être utilisés pour activer le PHM à l'aide de simulations informatiques, alors que dans les simulations informatiques PHM en temps réel peuvent ne pas être réalisables.

Les fabricants ont besoin de normes et de conseils sur la façon de concevoir, de mettre en œuvre, de vérifier et de valider efficacement les technologies de surveillance, de diagnostic et de pronostic pour améliorer la prise de décision au niveau de l'usine qui ont une incidence directe sur la maintenance et le contrôle Stratégies. L'exigence de normes et d'orientation devient plus critique à mesure que les fabricants deviennent capables de recueillir de plus grands volumes de données, l'état des équipements et leurs processus évoluent pour répondre à l'évolution de la demande des consommateurs. Le PHM fournira des méthodes, des protocoles et des outils pour la détection, le diagnostic, les pronostics et le contrôle robustes qui permettent aux fabricants de réagir ainsi aux changements de performance planifiés et non planifiés. l'efficacité des systèmes de fabrication intelligents.

La disponibilité d'ensembles de données d'échec courant pour un système ou un composant particulier est le principal inconvénient de PHM axé sur les données, car l'exécution d'un système ou d'un compromis à l'échec peut être longue et coûteuse[13]. Ces données sont nécessaires dans l'approche axée sur les données pour définir les valeurs seuils respectives. Dans certains cas, il est difficile d'obtenir ou d'avoir des données historiques disponibles, par exemple, dans la carcasse d'un nouveau système ou d'un nouvel appareil qui peut nécessiter des tests longs et/ou indispensables pour ne pas générer ces données.

Bibliography

- [1] *Handbook of RAMS in Railway Systems*. Taylor Francis, PHM 2018.
 - [2] A.RAI. *Availability estimation by simulations for systems including logistics*. PhD thesis, 2018.
 - [3] Romain Bernard. *Analyses de sûreté de fonctionnement multi-systèmes*. Thèse, 2009.
 - [4] Sankalita Saha Bhaskar Saha and Kai Goebel. *A DISTRIBUTED PROGNOSTIC HEALTH MANAGEMENT ARCHITECTURE*. NASA Ames Research Center, 2009.
 - [5] NASA ARC Dr. Guillaume Brat. *Verification Validation for PHM*. NASA Ames Research Center, Code TI, PHM 2010.
 - [6] Karim Hamidi. *Contribution à un modèle d'évaluation quantitative des performances fiabilistes de fonctions électroniques et programmables dédiées à la sécurité*. 2005.
 - [7] Kristin Kößler, Johannes; Paetzold. *INTEGRATION OF MBSE INTO EXISTING DEVELOPMENT PROCESSES - EXPECTATIONS AND CHALLENGES*. 21-25 AUGUST 2017.
 - [8] Department of Defense(DoD) US. *RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY "Systems Engineering for Mission Success"*. August 3,2005.
 - [9] Panagiotis Katsaros Marco Bozzano Yiannis Papadopoulos, Koorosh Aslansefat. *Model-Based Safety and Assessment*. October 16–18, 2019, October 16–18, 2019.
- [2] [9] [8] [6] [3] [7] [4] [5] [1]