

Sujet de Thèse

Accroissement de la disponibilité opérationnelle de matériels défenses : proposition de l'approche **Holistique** et **prédictive** de **Maintien en Condition Opérationnelle** en présence de **pénuries** et d'**obsolescences** (**Hélios**)



Durée : 36 mois

Financement : 32k€/AN – Bourse CIFRE-ANRT

Contrainte RH : Une enquête de sécurité préalable sera menée, du fait de la sensibilité du sujet/du secteur d'application Défense.

Entreprise d'accueil : OBSAM - <https://www.obsam.fr/>

Directeurs de la thèse : Marc Zolghadri et Pascal Vrignat

Co encadrements de la thèse : Frédéric Kratz et Mariem Besbes

Date de démarrage de la thèse : Septembre 2024

Lieu d'accueil académique : ISAE-Supméca - Institut supérieur de mécanique de Paris, 3 rue Fernand Hainaut 93407 Saint-Ouen cedex - France

Contacts :

- ✓ Marc Zolghadri : Marc.Zolghadri@isae-supmeca.fr (Laboratoire QUARTZ)
- ✓ Pascal Vrignat : pascal.vrignat@univ-orleans.fr (Laboratoire PRISME)

Résumé : Défense et matériels défenses à l'épreuve des obsolescences et des pénuries

Disposer de matériels défenses opérationnelles est une condition nécessaire à la réalisation de toute stratégie nationale et européenne de la défense. L'industrie de la défense ainsi que les forces armées doivent alors être en mesure de maintenir ces matériels en conditions opérationnelles. De plus, compte tenu de l'âge des matériels et leur durabilité, il est tout aussi important de pérenniser les compétences et savoir-faire nécessaires au Maintien en Condition Opérationnelle (MCO) des matériels (Marty A & Récalde M, 2015), (Vrignat, Kratz, & Avila, 2022). Même si le MCO et la pérennisation des compétences et savoir-faire ne sont pas des sujets nouveaux en défense, ils prennent une dimension toute nouvelle et bien plus complexe qu'auparavant dues notamment aux obsolescences et pénuries qui impactent de très nombreux secteurs industriels (Maborgne S, 2020). L'objectif de la thèse que nous proposons ici est de concevoir et de mettre en place une nouvelle approche de gestion de MCO en tenant compte des obsolescences et pénuries diverses. Cette approche nommée ci-après **Hélios** doit permettre la maximisation de la disponibilité opérationnelle de parcs de matériels. Il est prévu que cette approche supportée par un outil robuste d'aide à la décision des utilisateurs.

I) Contexte scientifique et approche du problème

Actuellement, l'obsolescence impacte un grand nombre de secteurs tels que l'aéronautique, l'automobile, l'énergie, l'armement, les télécommunications, ... Le rythme des obsolescences électroniques et logiciel augmente constamment créant ainsi d'innombrables situations de crise de disponibilité matériels. La pénurie de matières premières et de composants, associée conjointement à la diminution des sources de fabrication (DMSMS : Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages), s'est également considérablement accélérée depuis les dernières crises internationales. Nous constatons que les crises et instabilités internationales freinent voire paralysent totalement de nombreuses chaînes logistiques, conduisant par exemple à de nombreux arrêts intempestifs des unités de production du secteur automobile. L'obsolescence et la pénurie sont à l'origine de divers facteurs de risques et impacts industriels (Borgonovo, Marseguerra, & Zio, 2000), (Mellal, Adjerida, & Williamsb, 2013), (Jacobsson, 2018), (Zolghadri, Addouche, Boissie, & Richard, 2018), (Mellal, 2020) et (Shi & Liu,

2020), (Zolghadri, Addouche, Baron, Soltan, & Boissie, 2021), (Zolghadri M, Vrignat P, Besbes M, & Kratz F, 2023). On peut retenir les principaux facteurs comme :

- ✓ Baisse de disponibilité opérationnelle des matériels divers (défense, santé, ferroviaire, etc.)
- ✓ Accidents (diminution du facteur de sécurité, par exemple dans les usines pétrochimiques et les centrales nucléaires).
- ✓ Perte de qualité de fabrication et arrêts subis dans les usines manufacturières.
- ✓ Découverte de obsolescences dès la phase de conception d'un système, nécessitant de modifications d'architecture.
- ✓ Augmentation des coûts associés aux activités de maintenance.
- ✓ Mauvaise prise en compte du cycle de vie.
- ✓ Arrêt ou baisse des installations de production.
- ✓ ...

II) Système de systèmes : impossible de séparer le matériel de tous les systèmes contributeurs

Comme il l'a été présenté précédemment, il existe *de facto* des liens directs entre la gestion de l'obsolescence et de la pénurie avec le MCO. Cependant, l'approche "système de systèmes" n'a pas encore été traitée jusqu'à présent, tout en considérant des points de vue macroscopiques et microscopiques (Figure 1).

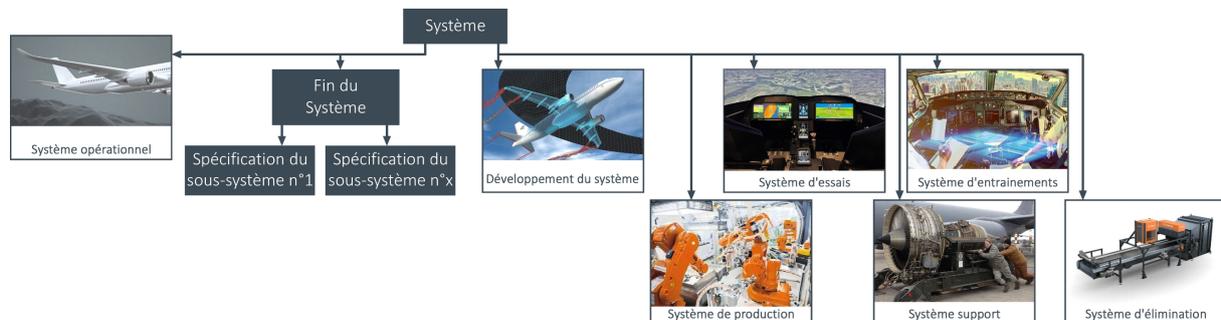


Figure 1 : Approche "système de systèmes"

L'approche Système de Systèmes (SdS) cherche à proposer une vue holistique de l'ensemble des systèmes contributeurs aux différentes phases du cycle de vie d'un matériel (ou un système) que sont les phases de conception, de fabrication, d'usage et de soutien, et enfin de retrait et de fin de vie. La non prise en compte des obsolescences et des pénuries dans l'un de ces systèmes contributeurs, en plus de celles dans le système fini peut conduire à des réductions drastiques de disponibilité opérationnelle. C'est le cas par exemple de l'obsolescence des systèmes de tests ou de réalisation que sont deux des systèmes contributeurs.

Eu égard à la problématique de la disponibilité opérationnelle et ses liens avec une gestion efficace et efficiente de l'obsolescence, l'approche système de systèmes sera exploitée selon plusieurs dimensions :

- 1) Gestion des Connaissances dans le SdS : Explorer des approches pour la gestion des connaissances et des informations à travers les différentes phases du cycle de vie. Développer des modèles de représentation des connaissances pour les SdS afin de faciliter la prise de décision.
- 2) Maintenabilité et Fiabilité : Proposer des stratégies pour garantir la fiabilité des SdS, y compris la gestion des pannes et la résilience.
- 3) Modélisation et Simulation : Développer des modèles de simulation pour évaluer le comportement des SdS dans des scénarios variés. Explorer des techniques de modélisation avancées pour représenter la complexité des interactions entre les systèmes.

Nous envisageons l'exploitation des techniques de l'Intelligence Artificielle afin d'estimer, de manière proactive, la disponibilité opérationnelle d'un système fini compte tenu des informations en provenance de certains de ses systèmes contributeurs.

III) Contribution de la thèse : l'approche Hélios

Le But : Maximiser la disponibilité opérationnelle.

L'objectif ultime de l'approche Hélios est de maximiser la disponibilité opérationnelle des matériels de défense en proposant à l'expert différents profils de disponibilité par une approche prédictive.

L'approche envisagée : Hélios.

L'approche Hélios envisagée dans le cadre des travaux de thèse est fondée sur trois piliers :

- Maintien en Conditions Opérationnelles,
- Obsolescence et Pénurie,
- Système de systèmes.

Actions scientifiques menées dans les travaux de thèse :

Le projet de thèse vise à analyser les relations de cause à effet au sein d'une architecture SdS tout en développant des solutions de remédiation variées. La recherche explorera en profondeur l'exploitation robuste des données dans le contexte du Big Data, en mettant l'accent sur le prétraitement avant la modélisation. La gestion efficace de l'obsolescence nécessitera une approche multidimensionnelle, combinant diverses mesures notamment dans les domaines de la chaîne d'approvisionnement, de la conception, de la planification et de la maintenance.

Cette étude adoptera une approche "hybride", fusionnant des méthodes guidées par les données avec des approches basées sur la physique et des modèles empiriques. Une fois les données traitées, un cadre global intégrant ces informations diverses sera mis en place, en utilisant notamment un réseau bayésien dynamique. Ce type de réseau, reconnu pour son aptitude au pronostic probabiliste associant des interactions temporelles, permettra d'intégrer des données provenant de sources variées et de fournir une représentation probabiliste des solutions de remédiations.

Cette fusion méthodologique inclura des algorithmes à base de connaissances, des techniques basées sur les données et des modèles, offrant ainsi une approche complète pour la résolution des problèmes étudiés.

Mots-clés : *intelligence artificielle, Machine Learning, modélisation hybride, big data, diagnostic, pronostic, maintien en condition opérationnelle, pénurie, obsolescence, industrie 4.0.*

Références bibliographiques

Borgonovo, E., Marseguerra, M., & Zio, E. (2000). A Monte Carlo methodological approach to plant availability modeling with maintenance, aging and obsolescence. *Reliability engineering & system safety*, 67(1), 61-73.

Jacobsson, T. J. (2018). Photoelectrochemical water splitting: an idea heading towards obsolescence? *Energy & Environmental Science*, 11(8), 1977-1979.

Maborgne S. (2020). PRÉPARATION ET EMPLOI DES FORCES : FORCES TERRESTRES. ASSEMBLÉE NATIONALE, TOME IV, Défense, N 3465.

Marty A, & Récalde M. (2015). RAPPORT D'INFORMATION PAR LA COMMISSION DE LA DÉFENSE NATIONALE ET DES FORCES ARMÉES : en conclusion des travaux d'une mission d'information sur les conséquences du rythme des opérations extérieures sur le maintien en condition opérationnelle des matériels. ASSEMBLÉE NATIONALE, TOME IV, Défense, N ° 3323.

Mellal, M. A. (2020). Obsolescence—A review of the literature. *Technology in Society*, 63, 101347.

Mellal, M. A., Adjerida, S., & Williamsb, E. J. (2013). Optimal selection of obsolete tools in manufacturing systems using cuckoo optimization algorithm. *Chemical Engineering*, 33(1), 355-360.

Shi, Z., & Liu, S. (2020). Optimal inventory control and design refresh selection in managing part obsolescence. *European journal of operational research*, 287(1), 133-144.

Vrignat, P., Kratz, F., & Avila, M. (2022). Sustainable manufacturing, maintenance policies, prognostics and health management: A literature review. *Reliability engineering & system safety*, 218, 108140.

Zolghadri M, Vrignat P, Besbes M, & Kratz F. (2023). Le maintien en condition opérationnelle et la gestion de l'obsolescence. *Techniques de l'Ingénieur*.

Zolghadri, M., Addouche, S.-A., Baron, C., Soltan, A., & Boissie, K. (2021). Obsolescence, rarefaction and their propagation. *Research in Engineering Design*, 32(4), 451-468.

Zolghadri, M., Addouche, S.-A., Boissie, K., & Richard, D. (2018). Obsolescence prediction: a Bayesian model. *Procedia CIRP*, 70, 392-397.