

**Titre :** Gestion active de l'obsolescence et de la pénurie : proposition de techniques avancées de dimensionnement de stocks garantissant la disponibilité opérationnelle (des parcs) de systèmes

**Durée :** 36 mois

**Projet :** ANR EOS 2022-2026

**Directeur de thèse :** Marc Zolghadri, Quartz/LAAS-CNRS, ISAE-Supméca

**Co-directeur de thèse :** Claude Baron, LAAS-CNRS, INSA de Toulouse

**Date de démarrage de la thèse :**

Possible dès le 3 octobre 2022

**Contacts :**

[Marc.Zolghadri@isae-supmeca.fr](mailto:Marc.Zolghadri@isae-supmeca.fr)

[Claude.Baron@insa-toulouse.fr](mailto:Claude.Baron@insa-toulouse.fr)

### Contexte scientifique

Tout système manufacturier fait face, à un moment ou un autre, à l'obsolescence d'au moins l'un de ses constituants, elle est inévitable. Dans sa forme la plus élémentaire, l'obsolescence est définie comme la « transition de l'état de disponibilité à l'état d'indisponibilité d'une entité auprès de son fabricant conformément à la spécification d'origine » (IEC 62402 2019). Elle impacte les consommateurs à travers des produits technologiques (informatique, téléphonie, etc.) et les industriels à travers la discontinuité de composants par exemple. Les composants, en particulier électroniques, évoluant sans cesse et très rapidement, génèrent des obsolescences qui se traduisent par une réparation, maintenance ou modernisation difficiles, coûteuses voire impossibles. Au-delà des composants physiques, l'obsolescence touche aussi les composants logiciels et les fonctions.

La suractivité des équipements et la surintensité de leur emploi sont des facteurs aggravants des besoins en maintenance et par conséquent de rechanges. Ses conséquences peuvent se propager de proche en proche. Ainsi, l'obsolescence d'un constituant peut impacter plus largement un système (train, véhicule, radar, etc.) qui l'utilise, en particulier sa disponibilité. Elle rend le système « faillible », sans forcément que celui-ci ne soit en panne ou ne présente des défaillances. Elle se manifeste véritablement dès lors que le constituant obsolète est concerné par une réparation ou un changement lors d'opérations de maintenance (UTE 2011).

Un problème d'obsolescence est généralement généré par la perte (avérée ou imminente) de fournisseurs. L'impossibilité de réapprovisionnement des composants obsolètes, si elle n'est pas anticipée, crée de sérieux problèmes d'indisponibilité.

La gestion de l'obsolescence pèse lourdement sur les budgets des industries. C'est un processus impliquant de nombreux métiers dont les objectifs sont :

- (i) de retarder l'occurrence de l'obsolescence,
- (ii) d'offrir la fenêtre temporelle d'opportunité la plus longue (i.e. l'intervalle de temps séparant l'identification de l'obsolescence et l'implémentation de la résolution appropriée) (SD- 22 2021),
- (iii) et de déterminer les solutions de remédiation les moins onéreuses et les plus efficaces.

Les approches de gestion de l'obsolescence sont essentiellement réactives, proactives ou stratégiques (Boissie 2019; Rojo 2011; Sandborn 2012).

### Objectifs et déroulement de la thèse

La thèse se déroulera dans le cadre du projet ANR EOS. Par rapport au périmètre scientifique explicité ci-dessus, le projet EOS adresse exclusivement l'obsolescence des composants physiques (électroniques, mécaniques...).

#### *Le projet EOS*

L'objectif du projet, dont cette thèse est une composante importante, est de proposer des méthodes et des outils nécessaires pour garantir au mieux et de maximiser la disponibilité opérationnelle d'un système (ou d'un parc de systèmes) en présence d'obsolescence ou de pénurie, prédite et/ou avérée de composants physiques. L'objectif sera atteint via la définition des solutions de remédiation les plus efficaces (aptés à assurer l'atteinte des objectifs) et efficaces (utilisant de manière optimale les ressources).

Le projet EOS s'intéresse ainsi au dimensionnement des stocks des constituants à risque d'obsolescence, directement ou indirectement concernés par les actions de maintenance. Il s'agit de proposer des solutions de remédiation dont

l'application permet d'éviter l'effondrement de la disponibilité. Celle-ci est traditionnellement évaluée par la Disponibilité Technique Opérationnelle (DTO) évaluée par le ratio du nombre d'heures de disponibilité opérationnelle avérée par rapport au nombre total d'heures, sur une base calendaire. Cet indicateur sera à compléter par des indicateurs reflétant mieux la disponibilité des matériels.

Pour dimensionner au plus juste ces stocks, nous devons disposer des données relatives au taux d'usure et au taux de survie de chacun des constituants à risque d'obsolescence, les stocks des constituants à risque d'obsolescence (en interne, sur le marché secondaire, en réparation, etc.) et le planning de l'usage du système ou du parc. L'exploitation conjointe de ces données doit permettre d'identifier la solution « optimale » pour la gestion de l'obsolescence au regard de la disponibilité cible, du risque assumé d'indisponibilité et des impacts économiques et environnementaux. Le projet livrera un simulateur, conçu à base de modèles mathématiques (i.e. statistiques) et de modèles à base de données, et intégrés au sein d'une démarche d'optimisation multicritères. Ce simulateur fournira notamment des préconisations relatives :

- au dimensionnement optimal/quasi-optimal des stocks des constituants à risque jusqu'au retrait définitif du système,
- à la disponibilité opérationnelle estimée du système d'intérêt (ou du parc) associée sur un horizon temporel donné,
- au plan suggéré d'approvisionnement, et
- aux indicateurs estimés de performance d'efficacité et d'efficience.

### *La contribution de la thèse au sein du projet EOS*

La thèse s'intéressera essentiellement au dimensionnement optimal/quasi-optimal des stocks afin d'assurer une disponibilité en adéquation des demandes. Elle devra permettre d'identifier une stratégie de remédiation efficace et efficiente. Les grandes phases des travaux de la thèse sont les suivantes :

1. **Etat de l'art.** Il s'agit de procéder à une étude large des travaux scientifiques existants dans le domaine (UTE C96-029-1 2011, SD-22 2022, ...), mais aussi des domaines annexes (stock de pièces de rechange (Shi et Liu 2020), (Zheng, Terpenney, et Sandborn 2015), ...).
2. **Proposer des méthodes formelles et/ou des algorithmes de calcul des niveaux de stocks** des composants (consommables et réparables) afin de garantir une disponibilité attendue tout en maximisant l'efficience de la gestion de l'obsolescence. De manière à déterminer la meilleure solution de remédiation des obsolescences au regard des données disponibles, des objectifs à atteindre ou à optimiser, et des contraintes à respecter, une comparaison des modèles de la littérature de gestion de stocks avec obsolescence de composants et de planification d'approvisionnement sera effectuée. Des modèles mathématiques seront proposés pour y intégrer les aspects multi-niveaux de la nomenclature des systèmes. Au regard des modèles formels obtenus, des méthodes de résolution exacte seront développées pour valider la modélisation sur un échantillon des problèmes de l'état de l'art. Seront exploités les cas développés de la littérature, par exemple dans (SD-22 2021), (UTE 2011), (Cobbaert et Oudheusden 1996), mais aussi le Système Test.

Puis des méthodes approchées (soit ad hoc, soit métaheuristiques) seront mises en place pour la résolution des problèmes à complexité croissante, en écartant pas à pas les hypothèses simplificatrices, approchant au mieux des exigences du projet EOS au regard de l'analyse de l'état de l'art. Sans se restreindre *a priori* sur le choix des méthodes, nous envisageons l'usage d'heuristiques et de métaheuristiques à parcours et/ou à population. Différentes approches d'optimisation multicritères seront analysées pour identifier les approches les plus adéquates au regard des incertitudes et de manière à intégrer au mieux les priorités des décideurs.

Les solutions de remédiation seront probablement hybrides intégrant des solutions réactives (pour les obsolescences réelles) et des solutions proactives (pour des obsolescences probables). Les critères d'optimisation porteront à la fois sur la charge économique des solutions de remédiation mais aussi sur leur empreinte écologique. Ces critères seront définis et formalisés dans le cadre des travaux du projet. Ils décriront notamment l'empreinte dû au surstockage généré par la mise en place de chaque solution candidate.

3. **Appliquer les méthodes et programmer le noyau des méthodes et algorithmes mis au point.**

Ces travaux seront menés de concert avec :

- un autre doctorant dont les travaux seront focalisés sur la modélisation formelle entre l'obsolescence, la maintenabilité et la fiabilité.
- un ingénieur de recherche, responsable de l'architecture et du développement du système d'aide à la gestion active de l'obsolescence.

Le/la doctorant(e) sera amenée à travailler avec tous les autres acteurs du projet EOS (LAAS-CNRS, Valeo, Merem Electronique). Il/Elle devra participer activement à la préparation des livrables du projet. De plus, il/elle pourra contribuer à l'encadrement des étudiants de Master Recherche pris dans le cadre du projet.

## Quelques références bibliographiques

- Baron, Claude, Marc Zolghadri, Sid-Ali Addouche, Yann Argotti, et Kevin Boissie. 2021. « Obsolescence : un phénomène de société ? - Sources et risques industriels, économiques et sociétaux, remédiations possibles ». *Techniques de l'Ingénieur*, no H7000 v2 (décembre).
- Boissie, Kevin. 2019. « Méthodes et outils pour la maîtrise de risques en ingénierie de l'obsolescence dans un contexte incertain: application à un équipementier automobile ». Thèse de doctorat, Paris-Saclay University.
- FIDES. 2010. « Méthodologie de fiabilité pour les systèmes électroniques ». Edition A.
- IEC 62402, 2019. « Obsolescence management ». In International Electrotechnical Commission-IEC 62402, 2019.
- Kennedy, WJ, J Wayne Patterson, et Lawrence D Fredendall. 2002. « An overview of recent literature on spare parts inventories ». *International Journal of production economics* 76 (2): 201-15. DOI: 10.1016/S0925-5273(01)00174-8.
- Lawlor, Rob. 2014. « Delaying Obsolescence ». *Sci Eng Ethics* 21 (2): 401-27. DOI: 10.1007/s11948-014-9548-6.
- Legge, Dominique de. 2018. « Sur la disponibilité des hélicoptères du ministère des armées ». Rapport d'information fait au nom de la commission des finances du Sénat 650.
- Mastrangelo, Christina M., Kara A. Olson, et Dennis M. Summers. 2021. « A risk-based approach to forecasting component obsolescence ». *Microelectronics Reliability* 127 (décembre). DOI: 10.1016/j.microrel.2021.114330.
- Peter Sandborn Bjorn Bartles, Michael Pecht, Ulrich Ermel. 2012. *Strategies to the prediction, mitigation and management of product obsolescence*. Édité par Editor A. Andrew P. Sage. WILEY Seri. Wiley.
- SD-22. 2021. *SD-22 – Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages (DMSMS) A Guidebook of Best Practices for Implementing a Robust DMSMS Management Program*. Defense Standardization Program Office.
- Trabelsi, I., M. Zolghadri, B. Zeddini, M. Barkallah, et M. Haddar. 2021. « Prediction of obsolescence degree as a function of time: A mathematical formulation ». *Computers in Industry*, DOI: 10.1016/j.compind.2021.103470.
- UTE. 2011. « Guide méthodologique de dimensionnement des stocks de fin de vie des composants et sous-ensembles électroniques ». C 96-029-1.
- Van Jaarsveld, Willem, et Rommert Dekker. 2011. « Estimating obsolescence risk from demand data to enhance inventory control—A case study ». *International Journal of Production Economics* 133 (1): 423-31.
- Zolghadri, Marc, Sid-Ali Addouche, Claude Baron, Amel Soltan, et Kevin Boissie. 2021. « Obsolescence, rarefaction and their propagation ». *Research in Engineering Design* 32 (4): 451-68. DOI: 10.1007/s00163-021-00372-x.