Proposition de Thèse CIFRE 2025 - 2028

Méthodes et d'outils pour la rétro-ingénierie augmentée basée sur la modélisation système face aux défis de l'obsolescence

ISAE-Supméca	ABMI Groupe

Equipe d'encadrement.

ISAE-Supméca		ABMI Groupe	
Directeur de la thèse	Marc Zolghadri	Tuteur industriel	Christophe Theillet
Encadrante de la thèse	Imen Ben Brahim		

Mots Clés.

Rétro-ingénierie, Obsolescence, Pénurie, Résilience, Ingénierie systèmes, Réseaux Bayésiens

1 Contexte industriel et scientifique

L'obsolescence est définie comme "le fait de tomber en désuétude ou de sortir de l'usage", ou "la dépréciation d'un bien d'équipement ou d'un procédé due à l'émergence de nouveaux produits ou de nouvelles techniques". Ce phénomène, associé à celui de la pénurie, représente un risque majeur pour la disponibilité opérationnelle des systèmes ou équipements.

Ces derniers sont de plus en plus fréquemment confrontés aux obsolescences de leurs composants électroniques, mécaniques, mécatroniques, voire logiciels. En 2023, selon Z2Data, plus de 320 000 avis de fin de vie ont été émis par les fabricants électroniques.

La capacité d'un système à faire face à l'obsolescence définit sa "résilience", c'est-à-dire sa faculté à absorber les perturbations dues aux obsolescences tout en maintenant ses fonctions avec des performances acceptables. Cette résilience est particulièrement cruciale pour les **systèmes critiques et à missions vitales** (SCMV) comme ceux de la défense, de la santé, ou des transports ferroviaires.

Dans ce contexte, ABMI Groupe, entreprise d'ingénierie multidisciplinaire dotée d'un bureau d'études spécialisé en gestion de l'obsolescence, propose une solution innovante de déspécialisation, également appelée rétro-ingénierie augmentée. Cette approche vise à reconcevoir des systèmes impactés par l'obsolescence tout en définissant les processus complémentaires nécessaires.

Depuis 2022, ABMI collabore avec le laboratoire Quartz de l'ISAE-SUPMECA dans le cadre du projet OREO (Obsolescence et REsilience Optimisée), financé par le programme *France Relance* et *Next Generation EU* 2022-2024. Ce projet a permis de définir des concepts fondamentaux comme la résilience des systèmes, décrite par des paramètres tels que le temps de recouvrement et la profondeur de dégradation. ABMI a également développé une méthodologie innovante de rétro-ingénierie augmentée, visant à reconcevoir des systèmes tout en garantissant leur résilience.

Cependant, des lacunes subsistent, notamment dans l'intégration de la rétro-ingénierie comme solution proactive à l'obsolescence. Le projet i-OREO vise à combler ces lacunes en approfondissant les travaux sur la résilience, la gestion proactive de l'obsolescence, et la surveillance des brevets. Il ambitionne de proposer des solutions robustes et standardisées pour prolonger la durée de vie des systèmes complexes tout en répondant aux besoins industriels croissants.

Pour pérenniser et opérationnaliser ces recherches, les partenaires ont créé le laboratoire commun i-OREO, lauréat de l'appel à projet ANR en 2025. Le projet i-OREO vise à combler ces lacunes en approfondissant les travaux sur la résilience, la gestion proactive de l'obsolescence, et la surveillance des brevets. Il ambitionne de proposer des solutions robustes et standardisées pour prolonger la durée de vie des systèmes complexes tout en répondant aux besoins industriels croissants.

Le projet i-OREO se structure autour de trois axes de recherche principaux : obsolescence, rétro-ingénierie augmentée, et résilience, avec pour objectif de maximiser la disponibilité opérationnelle des systèmes critiques et à missions vitales.

- Axe Obsolescence : Ce volet vise à évaluer la criticité des systèmes et leur sensibilité à l'obsolescence. Il inclut la mise en place de stratégies de gestion proactive pour garantir la continuité opérationnelle. Un focus particulier est porté sur la gestion des brevets obsolètes, avec le développement d'outils de surveillance pour accélérer les processus et répondre aux attentes des clients.
- Axe Rétro-ingénierie augmentée : La méthodologie RAMSES sera développée pour limiter la propagation des modifications dans les systèmes lors de la re-conception. Elle s'appuiera sur des modèles probabilistes (réseaux Bayésiens, graphes de dépendance) et l'ingénierie système. Une base de retours d'expérience (REX) sera créée pour capitaliser les connaissances acquises et faciliter leur réutilisation.
- Axe Résilience : L'objectif est de perfectionner l'indice de résilience des systèmes, permettant d'évaluer leur capacité à surmonter les perturbations liées à l'obsolescence. Cet indice sera standardisé et breveté, garantissant une méthodologie fiable pour les clients industriels.

Les innovations prévues incluent la création d'outils d'évaluation de la résilience, la méthodologie RAMSES, et la commercialisation de la plateforme i-OREO. Les résultats seront validés sur des cas industriels réels, avec une dissémination scientifique et industrielle via des publications, conférences, et dépôts de brevets.

2 Objectifs de la thèse

Dans le cadre du laboratoire commun i-OREO, cette thèse CIFRE s'intégrera principalement dans le Work Package 3 : "Définition des méthodes et outils de la Rétro-ingénierie Augmentée basée sur des Modèles SystèmES" (RAMSES).

L'objectif central de la thèse sera de développer et de valider une méthodologie complète et des outils associés pour la rétro-ingénierie augmentée face aux obsolescences. Cette approche sera fondée sur la modélisation système et visera à :

1. Modéliser les différents types de dépendances (structurelles et fonctionnelles) entre composants et sous-systèmes
2. Identifier les limites des "justes sous-ensembles" à considérer dans la rétro-ingénierie (Système d'Accueil, Système d'Interface et Système d'Intérêt)
3. Développer des stratégies de réduction, limitation ou élimination de la propagation des effets entre ces sous-ensembles

Les travaux s'appuieront sur l'ingénierie système et exploiteront des méthodes probabilistes telles que les réseaux Bayésiens, les graphes de dépendance et les graphes de liaison (Bond Graph).

3 Méthodologie et plan de travail

La thèse se déroulera selon les étapes suivantes :

- État de l'art sur la rétro-ingénierie, la modélisation système et les approches de gestion de l'obsolescence
- Développement du cadre conceptuel RAMSES
- Modélisation des dépendances structurelles et fonctionnelles dans les systèmes complexes
- Élaboration des méthodes et outils pour identifier les justes sous-ensembles à considérer
- Développement des stratégies de limitation de la propagation des effets
- Participation à l'expérimentation de la méthodologie sur des cas industriels réels
- Finalisation de la méthodologie RAMSES
- Contribution à la structuration des retours d'expérience
- Participation à la mise en place de la plateforme i-OREO
- Rédaction du manuscrit et valorisation scientifique

4 Conditions pratiques

- Durée : 36 mois
- Début : Novembre 2025
- Localisation : Alternance entre ABMI Groupe et laboratoire Quartz à l'ISAE-SUPMECA
- Financement : Convention CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la REcherche)

5 Profil souhaité

- Master 2 ou diplôme d'ingénieur en génie industriel, génie mécanique, génie des systèmes ou domaines connexes
- Connaissances appréciées en ingénierie système, modélisation et analyse de systèmes complexes
- Compétences en programmation et manipulation de données
- Intérêt pour les problématiques de conception/re-conception et de gestion de l'obsolescence
- Aptitude au travail en équipe, rigueur scientifique et bonnes capacités de communication
- Maîtrise du français et de l'anglais technique

6 Contacts

- Marc Zolghadri : Marc.Zolghadri@isae-supmeca.fr
- Imen Ben Brahim : Imen.Ben-Brahim@isae-supmeca.fr