

# **IMdR**

## **Projet N° P08-3**

### **Méthodes & Outils de détection du vieillissement / rajeunissement d'équipements maintenus**

#### **"RAPPORT DE PROJET & RESUME DE SYNTHÈSE"**

## Projet N° P08-3

### Méthodes & Outils de détection du vieillissement / rajeunissement d'équipements maintenus

#### 1. CONTEXTE & ENJEUX

Dans le contexte technico-économique actuel, l'étude du processus de vieillissement / rajeunissement présente un caractère stratégique pour les acteurs impliqués dans le cycle de vie des équipements: concepteurs, constructeurs, exploitants, gestionnaires.

A titre d'exemples, une meilleure connaissance de ce processus pourrait se traduire concrètement par:

- une amélioration de l'efficacité des actions de maintenance (correctives, préventive, conditionnelle) avec les conséquences économiques que cela peut entraîner,
- une estimation moins incertaine de la fiabilité opérationnelle en phase de vie utile,
- une programmation plus pertinente des actions visant à étendre la durée de vie,
- une amélioration de la collecte des données du retour d'expérience...

Cependant, les difficultés sont à la mesure des enjeux, car au fur et à mesure que le progrès technique permet d'améliorer la fiabilité des systèmes industriels, il devient de plus en plus difficile d'estimer l'évolution de cette dernière et d'élaborer des éléments d'aide à la décision.

Outre l'accroissement de la fiabilité intrinsèque des composants, équipements, installations, les raisons de ces difficultés tiennent au degré de complexité du sujet. En effet, il convient d'envisager un ensemble de facteurs à la fois très nombreux et diversifiés, parmi lesquels on peut citer:

- la structure des installations (des composants au système),
- le profil des contraintes d'exploitation,
- la nature et l'efficacité des actions de maintenance,
- l'insuffisance des informations issues du retour d'expérience,
- les méthodes et outils de traitement utilisables, etc...

Le projet P08-3 vise à éclairer cette problématique et à fournir les bases d'une approche méthodologique susceptible de réduire l'empirisme des pratiques actuelles.

#### 2. CONTENU DU PROJET

##### 2.1. Intitulé des rapports

Outre ce rapport final de synthèse, le projet s'appuie sur quatre rapports partiels, relatifs à des tâches identifiées comme suit:

- Tâche 1: "Analyse comparative des études de cas"
- Tâche 2: " Recherche bibliographique concernant le vieillissement"
- Tâche 3: "Modèles génériques de courbe en baignoire"
- Tâche 4: "Etudes de cas approfondies"

Pour les besoins d'une présentation aussi logique que possible, on peut distinguer, successivement trois sous-ensembles principaux : le premier concernant le rapport T3, le second concernant le rapport T2 et le troisième regroupant les rapports T1 & T4.

## 2.2. Modèles génériques de courbe en baignoire(T3)

Le concept de courbe en baignoire permet d'appréhender l'ensemble du cycle de vie des équipements, en particulier de localiser les transitions qui séparent la période de vie utile des périodes de jeunesse et de vieillissement. Le rapport contient deux parties complémentaires.

Dans la première intitulée "modèle général", on passe en revue quelques arguments mathématiques permettant d'engendrer théoriquement des modèles de fiabilité caractérisés par un taux de défaillance en baignoire. Le nombre et la diversité des modèles possibles sont très importants.

C'est pourquoi, dans la seconde partie, intitulée " modèles de *Weibull*", on présente une sélection d'un nombre restreint de modèles susceptibles d'avoir une portée plus pratique. Leur choix préférentiel est dicté par leur appartenance au modèle de *Weibull* et par leur moindre complexité relative.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que leur utilisation potentielle est nettement entravée par la rareté d'un retour d'expérience susceptible de couvrir l'ensemble d'un cycle de vie.

## 2.3. Recherche bibliographique concernant le vieillissement (T2)

Ce rapport représente le cœur du projet en ce sens qu'il rassemble de manière ordonnée un ensemble d'éléments sur lesquels on peut s'appuyer en vue d'étudier l'évolution de la fiabilité d'un équipement au cours de son cycle de vie :

- dans le premier chapitre intitulé " vieillissement et durée de vie", on introduit les notions de base concernant la problématique de "vieillissement / rajeunissement" : définitions, modèles physiques et statistiques,
- le second chapitre, intitulé "modèles probabilistes de vieillissement", présente les notions fondamentales et indicateurs de fiabilité, les lois de fiabilité paramétriques les plus courantes, ainsi que les principales distributions non paramétriques,
- le troisième chapitre concernant les "estimations statistiques", récapitule diverses méthodes paramétriques et non paramétriques permettant de traiter des données complètes ou censurées et d'évaluer l'incertitude des estimateurs correspondants,
- le quatrième chapitre intitulé "tests de tendance" présente les caractéristiques de nombreux tests applicables à des distributions paramétriques et non paramétriques, permettant de détecter l'évolution d'un taux de défaillance avec un niveau de signification statistique déterminé,
- le cinquième chapitre concerne les "tests d'hypothèses" permettant, les uns de tester l'adéquation d'une distribution aux données statistiques, les autres d'estimer l'incertitude associée aux paramètres d'une distribution,
- le sixième chapitre intitulé "processus stochastiques de comptage et de dégradation" représente, dans l'optique du projet, une base indispensable à l'étude d'un taux de défaillance dont l'évolution résulte à la fois de sa fiabilité intrinsèque et des actions de maintenance,
- le septième chapitre, qui concerne le "modélisation des politiques de maintenance", présente toute la diversité des politiques de maintenance possibles, leur définition, leur efficacité et les modèles qui permettent de quantifier leurs effets,
- le huitième chapitre aborde les principes d'une "démarche méthodologique" qui pourrait s'appuyer sur une mise en œuvre des méthodes d'étude exposées dans les chapitres précédents. Une tentative de visualisation synthétique est proposée sous forme d'un diagramme séquentiel pouvant servir d'aide à une méthodologie plus formelle.

Outre les "conclusions générales", le rapport comporte une importante liste de "références bibliographiques" ainsi qu'une annexe consacrée aux "phénomènes physiques de

vieillessement", qu'ils soient de natures mécanique, thermique, physico-chimiques ou électriques.

#### 2.4. Etudes de cas (T1 & T4)

Dans l'esprit du projet, Les méthodes et outils présentés dans le rapport T2 précédent, pouvaient être illustrées pratiquement par des études de cas réels.

Dans le rapport T1, intitulé " analyse comparative des études de cas", on a récapitulé préalablement les 8 études de cas proposées par les souscripteurs.

L'analyse préliminaire de leur consistance et des données correspondantes s'est traduite par le choix préférentiel de trois d'entre eux, à étudier de manière plus approfondie dans le cadre de la tâche 4.

Parmi les critères retenus a priori pour cette sélection, on a tenu compte de la possibilité de couverture de différentes périodes du cycle de vie, de la nécessité de disposer d'informations suffisantes et d'aspects spécifiques liés au traitement statistique des données de défaillance (échantillon faibles et censurés, mélanges de populations, mécanismes de défaillance différents,...).

Dans la suite logique des rapports T1 & T2, le rapport T4, intitulé " études de cas approfondies" a été scindé en trois rapports partiels numérotés (1,2,3), chacun d'entre eux concernant l'étude d'un cas spécifique :

- l'étude du cas T4-1, intitulée "ATT", concerne une population d'équipements en période de jeunesse, pour laquelle on cherche à estimer la transition entre cette période et celle de vie utile. A partir d'un échantillon statistique faible et fortement censuré , on a exploré les performances de divers modèles permettant d'estimer un taux de défaillance constant à un horizon temporel suffisant. On a montré que la relative pauvreté des informations disponibles entraîne une incertitude irréductible et que la capacité d'un modèle de fiabilité prévisionnelle est liée à sa complexité,
- l'étude du cas T4-2, intitulée "DIS", concerne un dispositif soumis à quatre environnements différents et dont les défaillances sont causées par trois modes concurrents. On dispose d'échantillons statistiques relativement faibles et fortement censurés. L'étude a permis de mettre en évidence l'importance des censures quant à leur influence et aux difficultés d'estimation statistique auxquelles elles conduisent. La combinatoire des environnements et des modes de défaillance a conduit à la nécessité d'agréger les données, ce qui a permis de montrer les risques que peuvent entraîner des procédures d'agrégation inadéquates. Les données disponibles ne permettent pas de détecter un éventuel vieillissement, soit qu'il n'existe pas intrinsèquement , soit qu'il est combattu par une politique de maintenance très efficace,
- l'étude du cas T4-3, intitulée "MIS", avait pour but initial de détecter un éventuel vieillissement de composants stockés durant de longues périodes en mode dormant et sollicités sporadiquement en mode opérationnel. La nécessité d'estimer préalablement leur taux de défaillance en stockage a représenté un problème difficile à résoudre par suite des particularités et des résultats de la procédure de tests périodiques. Compte tenu d'un taux de couverture imparfait et d'une périodicité irrégulière, l'existence de nombreux tests négatifs a conduit à la mise en œuvre d'une approche bayésienne. On a pu ainsi estimer le taux de défaillance en stockage avec une incertitude acceptable.

### 3. CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

Les objectifs assignés au projet P08-3 intitulé "Méthodes & Outils de détection du vieillissement / rajeunissement d'équipements maintenus" ont été atteints.

Les utilisateurs disposent d'un ensemble ordonné de modèles représentatifs et des méthodes d'étude correspondantes permettant de détecter la tendance d'évolution du taux de défaillance d'un composant ou d'un système affecté par des dégradations et soumis à des actions de maintenance. En dépit d'un important effort de clarification, des difficultés subsistent en ce qui concerne la formalisation d'une démarche méthodologique dont les limites résultent de la complexité des situations envisageables.

Néanmoins, les éléments acquis et les difficultés rencontrées dans le cadre du projet permettent d'ouvrir quelques perspectives d'évolution ultérieure, parmi lesquelles on peut citer:

- la formalisation plus approfondie d'une approche méthodologique qui devrait réaliser un compromis réaliste entre la complétude des situations envisageables et la simplicité de mise en œuvre opérationnelle,
- l'extension des études de cas permettant d'étayer une démarche méthodologique, en particulier leur définition et leur nombre, en rapport avec la nature des situations les plus fréquemment rencontrées,
- l'orientation de la méthodologie vers une optimisation technico-économique ainsi qu'une aide à la décision, associées à une prise en compte des politiques de maintenance,
- l'amélioration des modèles de fiabilité prévisionnelle utilisant conjointement les informations issues du retour d'expérience et celles issues d'expertises ou informations externes, par la mise en œuvre de techniques bayésiennes,
- un recensement et une analyse critique des caractéristiques et possibilités des outils logiciels disponibles, afin d'éviter que leurs performances soient utilisées en contradiction avec les objectifs poursuivis par un utilisateur peu averti,
- une tentative visant à exploiter pour les besoins de la fiabilité, la grande quantité d'informations compilées dans les bases de données GMAO, dédiées à la gestion de la maintenance.