

Élaboration d'un système d'aide à la décision pour la gestion des actifs à TransÉnergie

**A. Côté, D. Messaoudi, D. Komljenovic,
S. Alarie, O. Blancke, M. Gaha, E. Truchon et S. Pelletier
Hydro-Québec
Canada**

SOMMAIRE

La gestion des actifs à Hydro-Québec TransÉnergie (HQT) requiert l'élaboration de méthodes et de systèmes de modélisation prédictive pour répondre à de nouveaux besoins et aux changements dans le marché de l'énergie. Une analyse des besoins pour un système de gestion et de modélisation des actifs amélioré, réalisée par HQT, a mené à la création du Programme de robustesse, d'intégration et d'aide à la décision (PRIAD) en collaboration avec l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ). L'objectif du projet d'innovation PRIAD est de mener à bien les diverses initiatives en vue d'améliorer la manière de simuler l'effet des décisions au regard de la stratégie de gestion des actifs.

La structure du projet est constituée de différents modules complémentaires et interdépendants, soit le module d'entrepôt de données, le module du comportement des actifs, la banque de fiabilité, le simulateur de fiabilité du réseau de transport, le module de risque et le module d'optimisation. Les différents modules d'amélioration décrits dans le présent article sont en cours d'élaboration afin de rendre la planification de la gestion des actifs à HQT plus efficace et robuste. Ils permettront ultimement d'obtenir une meilleure valeur pour la retombée des actifs.

MOTS CLÉS

Gestion des actifs, réseau de transport, simulation, optimisation, risque

1 INTRODUCTION

Les propriétaires de réseaux de transport d'électricité doivent composer avec un parc d'actifs vieillissant et des exigences de rentabilité. Des systèmes de gestion des actifs fondés sur la série de normes ISO 55000 [1] permettent aux entreprises d'électricité de réaliser et de démontrer une meilleure gestion de la valeur de l'ensemble de leurs actifs. La gestion des actifs nécessite l'élaboration de méthodes et de systèmes de modélisation prédictive pour accroître leur réactivité à de nouveaux besoins et aux changements dans le marché de l'énergie [2, 3]. HQT utilise un tel système de modélisation pour gérer ses actifs depuis plus de dix ans. Dans le but d'améliorer sa performance et la robustesse de ses prédictions, une analyse des besoins pour un système amélioré à HQT a mis en lumière les écarts par rapport au système existant en ce qui concerne notamment la qualité des données, le temps de collecte des données, les modèles de fiabilité et l'infrastructure des technologies de l'information (TI).

Ces constatations ont poussé HQT à créer le projet de recherche PRIAD (Programme de robustesse, d'intégration et d'aide à la décision) en collaboration avec l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ). L'objectif de ce projet est de mener à bien les diverses initiatives en vue d'améliorer la manière de simuler l'effet des décisions au regard de la stratégie de gestion des actifs. Cet article présente les différents éléments du projet en cours ainsi que les améliorations pouvant être apportées au système actuel.

2 MODÉLISATION DE LA GESTION DES ACTIFS

La direction – Gestion des actifs de HQT dispose déjà d'un processus bien établi afin d'élaborer le cadre financier pour la maintenance et la pérennisation des équipements. Ce processus est illustré par les cases entourées de rouge à la figure 1. La proposition d'amélioration du projet PRIAD concerne les autres cases de la figure. La structure du projet de recherche et développement est constituée de différents modules interdépendants et étroitement liés, soit le module d'entrepôt de données, le module du comportement des actifs, la banque de fiabilité, le simulateur de fiabilité du réseau, le module de risque et le module d'optimisation. Chacun de ces modules doit être mis en œuvre afin d'obtenir un système efficace. Ils sont décrits dans les prochaines sections.

2.1 Entrepôt de données et modules d'intégration de données

L'entrepôt de données sera constitué de données d'entreprise utiles pour les analyses de fiabilité (inventaires, ordres, avis de travail, plan de maintenance, topologie du réseau) et qui seront centralisées dans un entrepôt de données d'entreprise (lac de données). Ce lac de données permet d'entreposer tant les données brutes que les données nettoyées. Cette méthode d'entreposage de l'information permet de faciliter la cohabitation entre les différents schémas et formes structurelles de données de l'entreprise. Elle nous permet de séparer les données des traitements, ainsi que d'extraire ou d'analyser les données selon une période souhaitée ou une date précise grâce à l'historisation des données. Cette structure d'entreposage de données permet de créer une source de données fiable et unique, disponible à l'ensemble de l'entreprise et régie par les normes définies de gouvernance des données. L'historisation des données nous permet de tirer des leçons du passé, de les analyser, d'en tirer profit pour tenter de prédire l'avenir et de constituer ainsi une banque de connaissances pour l'entreprise.

Les modules d'intégration de données sont les suivants : module du comportement des actifs, banque de fiabilité, simulateur de fiabilité du réseau, module de risque et module de planification. Ils doivent permettre l'interaction entre les autres initiatives en lien avec la gestion des actifs et les données (lac de données). Pour ce faire, les plus récentes technologies sont préconisées, tant du côté de l'infonuagique (Microsoft Azure, Databricks) que localement sur les machines (auto-hébergement). Ainsi, les chercheurs pourront ajuster la puissance des calculs distribués selon les besoins des algorithmes dans le but de répondre rapidement à des interrogations ou aux besoins exprimés par l'entreprise. Ils auront également accès aux derniers outils de développement. Python a été choisi

comme langage principal de développement, néanmoins plusieurs modules seront développés dans d'autres langages tels que Java, MathLab et SparkSQL. Les différents algorithmes seront centralisés pour pouvoir être utilisés par les différents modules et systèmes. La gestion des opérations de TI et du code source devrait être prise en charge par une cellule DevOps d'Azure. La validation détaillée des résultats sera appuyée par des outils de visualisation et de veille économique, tels que PowerBI, qui pourront être mis à la disposition d'experts des données et de l'exploitation.

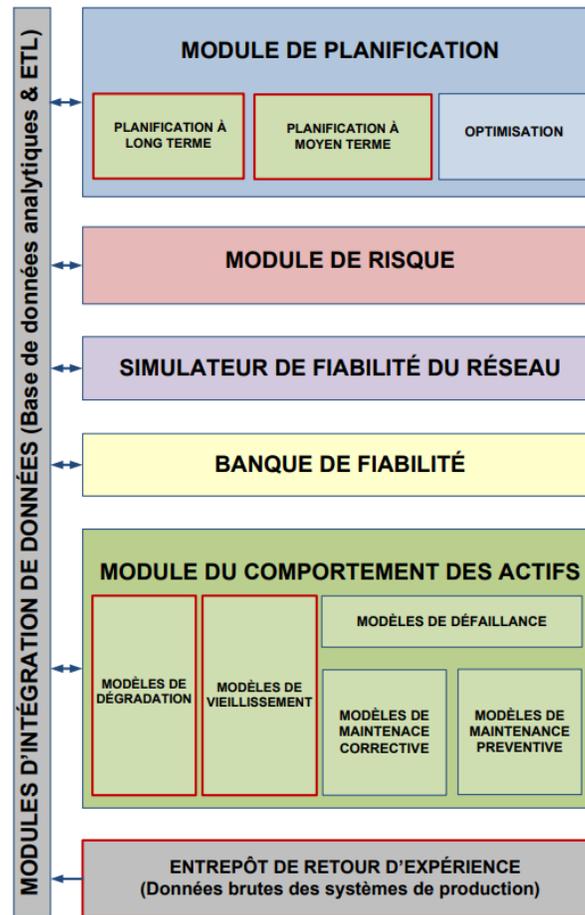


Figure 1 Modèle de gestion des actifs proposé ; le modèle actuel est représenté par les cases entourées de rouge

2.2 Module du comportement des actifs

L'objectif principal du modèle de dégradation des actifs est de simuler l'effet de la planification de la maintenance systématique sur la fiabilité des équipements essentiels du réseau de transport. Deux méthodes sont utilisées pour estimer les paramètres du modèle : la sollicitation d'experts et l'analyse des données de défaillances. Dans un premier temps, un modèle de dégradation théorique est établi pour chaque classe d'équipement sur la base de connaissances expertes. Le modèle s'inspire des approches proposées par l'Electric Power Research Institute (EPRI) dans la base de données PMBD [4]. Il a été conçu pour fonctionner dans le contexte commercial et opérationnel d'Hydro-Québec (normes de maintenance en vigueur et systèmes d'entreprise). Cette analyse basée sur des analyses de modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) quantitatives définit l'ensemble des mécanismes de dégradation pouvant conduire à différents modes de défaillance, leur temps de propagation et l'impact des tâches de maintenance préventive sur leur propagation.

Plusieurs réunions de sollicitation sont organisées par les différents groupes d'experts pour élaborer les modèles de chaque classe d'équipement. La principale difficulté réside dans le fait que les experts doivent estimer un temps de propagation des mécanismes de dégradation sans tenir compte de la maintenance. Or, l'équipement a naturellement fait l'objet de maintenance au cours de sa vie utile. Pour prendre en compte ce biais et les incertitudes présentes dans l'ensemble du processus de sollicitation, la propagation dans le temps est estimée sous la forme d'un intervalle borné représentant les incertitudes sous-jacentes. En conséquence, les modèles de dégradation théoriques prédisent le taux de défaillance annuel d'un programme de maintenance donné pour chaque classe d'équipement. Ils peuvent également prédire le taux de défaillance de la combinaison de composants et leur mode de défaillance associé. Ces modèles doivent représenter les connaissances acquises en physique des défaillances pour chaque classe d'équipement. Ils doivent être représentatifs du comportement passé et futur de chaque famille d'équipements pour permettre une simulation précise.

Pour étalonner les paramètres des modèles théoriques, des analyses sont effectuées sur les données de défaillance afin d'estimer le taux de défaillance historique observé de chaque classe d'équipement conformément au programme de maintenance en vigueur. Dans cette analyse, le taux de défaillance a été considéré comme constant. Tout comme dans l'estimation des experts, le taux de défaillance de chaque combinaison de composants et de leur mode de défaillance associé est estimé avec un intervalle de confiance dans la mesure du possible, en tenant compte des incertitudes sous-jacentes des données de défaillance.

Les paramètres de fiabilité estimés par sollicitation d'experts et par analyse de données souffrent tous deux d'incertitude et de biais. Une meilleure estimation des paramètres sera obtenue en combinant les deux approches. Diverses techniques de combinaison seront étudiées, telles que les méthodes d'inférence bayésienne. Une approche prometteuse, en cours de développement, consiste à optimiser les paramètres de fiabilité établis par des experts dans le but d'obtenir un taux de défaillance estimé et de comparer celui-ci avec le taux de défaillance observé par analyse des données. Le résultat final représente une estimation plus robuste des paramètres du modèle de fiabilité.

2.3 Banque de fiabilité

Les modèles de fiabilité des actifs seront stockés dans une base de données de fiabilité centralisée qui constituera le cœur du projet. Cette base de données assurera la cohérence et la traçabilité des données pour les ingénieurs en fiabilité et les outils de simulation. Le concept d'actif sera la pierre angulaire de la base de données. Celle-ci comprendra des tables d'événements historiques de chaque actif et des informations connexes telles que : les stratégies, les attributs, les différents statuts, les profils de risque, les localisations, les modèles de fiabilité, etc. Elle sera hébergée dans une infrastructure informatique afin qu'on puisse y avoir accès dans toute l'entreprise.

2.4 Simulateur de fiabilité

Pour évaluer les performances attendues du réseau de transport et les caractéristiques de fiabilité, un simulateur d'événements discrets basé sur la simulation Monte-Carlo et associant fiabilité et aspects électriques est en développement. Le simulateur peut prédire les performances attendues d'un réseau de transport en calculant des indicateurs tels que le temps d'indisponibilité (c'est-à-dire les temps d'arrêt) et le bilan énergétique d'un poste donné. Une approche Monte-Carlo a été utilisée, car il s'agit d'un outil puissant et pratique pour analyser la fiabilité du réseau. Elle constitue une alternative bien connue à la simulation analytique et offre une précieuse flexibilité en combinant des phénomènes hétérogènes. Elle permet en outre de décomposer un problème complexe en de nombreuses simulations indépendantes.

Le simulateur communique avec un moteur d'écoulement de puissance appelé PSSe et s'appuie sur la simulation d'événements discrets pour simuler facilement une grande variété d'événements, tels que la surcharge du réseau, le mécanisme de protection, le flux de puissance, la stabilité dynamique et

thermique, les événements simultanés et la reconfiguration du réseau. De plus, afin d'accélérer le traitement et d'assurer une bonne performance du simulateur, les résultats partiels sont enregistrés. Ce simulateur sera un outil complet et puissant pour aider les gestionnaires, les ingénieurs et les planificateurs à comprendre l'impact de la gestion des actifs sur la fiabilité du réseau.

2.5 Module de risque

Le module de risque utilisera les données pertinentes des modules précédents. Son objectif est de quantifier les risques et de les traduire en valeur monétaire lorsque cela est possible. Les types de risques suivants seront pris en compte : exploitabilité, fiabilité, disponibilité et maintenabilité (RAM), environnement, finances, réglementation, santé et sécurité du travail (SST), réputation de l'entreprise, et autres risques jugés pertinents. L'interdépendance des différents types de risques est analysée afin d'optimiser les stratégies de gestion des risques.

2.6 Module d'optimisation

Les différentes composantes présentées ci-dessus (banque de fiabilité, simulateur de fiabilité du réseau, module de risque et d'impact) seront sollicitées et mises en relation pour établir les stratégies de pérennité et de maintenance optimales pour les différents actifs sous gestion. Les techniques d'optimisation non lisse (aussi dite de « boîte noire ») seront utilisées puisque la fonction objective et les contraintes ne peuvent se réduire à des équations analytiques en raison de la complexité du système.

La chaîne d'opérations permettant de quantifier la performance des stratégies se déroule concrètement comme suit. L'optimiseur génère un vecteur x donné, qui est soumis pour évaluation. Ce vecteur est un jeu de valeurs définissant complètement la stratégie en question. Les valeurs de x sont injectées dans les modèles de la banque de fiabilité pour obtenir les taux de défaillance résultants. Les taux obtenus sont utilisés par le simulateur Monte-Carlo pour générer des scénarios de pertes de fonctionnalité, pour lesquels un écoulement de puissance est réalisé et les occurrences non désirées sont comptabilisées. Dès lors, on peut associer à la stratégie x une valeur économique, des coûts financiers, une estimation de l'exposition au risque, etc. Les valeurs calculées sont retournées à l'optimiseur, qui soumet pour évaluation une nouvelle stratégie x . Le tout est répété jusqu'à l'obtention d'une stratégie optimale.

Étant donné l'importance des calculs à effectuer pour une seule évaluation, on doit choisir adéquatement l'algorithme d'optimisation qui sera utilisé. Les métaheuristiques usuelles telles que les algorithmes génétiques (et ses dérivées) et les essaims de particules (PSO, en anglais) sont à éviter puisqu'elles reposent sur le hasard et sur des populations de solutions candidates. Ce faisant, elles consacrent beaucoup de temps et d'effort à l'évaluation de stratégies x inintéressantes. Pour tendre vers un optimum local en un temps raisonnable, il faut considérer ici des algorithmes qui, de par leur conception, cherchent à minimiser le nombre d'évaluations à réaliser. Les méthodes sur treillis (*pattern search methods*, en anglais) telles que GPS, MADS, HJDS et les méthodes à régions de confiance (*trust-region methods*, en anglais) telles que DFO, NEWUOA, BOOSTERS sont à envisager [5]. Elles sont actuellement à l'étude pour la mise en œuvre de la solution proposée en matière d'optimisation de stratégies de maintenance.

3 RÉSULTATS ESCOMPTÉS

La mise en place du projet PRIAD aidera HQT à améliorer sa gestion des actifs. Ce projet fournira plusieurs méthodes et outils améliorés à HQT pour :

- aider à l'élaboration du cadre financier à Hydro-Québec HQT ;
- estimer et quantifier le risque lié aux stratégies de gestion des actifs ;
- simuler l'effet des stratégies de gestion des actifs sur la fiabilité du réseau ;
- aider à la planification et à l'optimisation des stratégies ;

- mesurer la performance fonctionnelle des actifs ;
- assurer un suivi de la qualité des données.

Des études de cas visant à répondre à des besoins ponctuels, comme celle réalisée par Komljenovic *et al.* [6], font l'objet d'analyses au moyen des outils et méthodes étudiés par le projet PRIAD.

3.1 Exemple de cas d'optimisation

Afin d'illustrer les avantages d'un tel système de modélisation de la gestion des actifs, nous nous pencherons sur un enjeu important qui concerne l'optimisation de la maintenance. Le cheminement entre les différents modules de la figure 1 est illustré à la figure 2. Le point de départ est le modèle de comportement obtenu à partir des analyses AMDEC, qui permet de relier les composants des actifs, les mécanismes de dégradation, les activités de maintenance systématique planifiée et leur efficacité ainsi que les modes de défaillance. En utilisant l'estimation du temps de propagation des mécanismes de dégradation et l'effet de la maintenance sur leur propagation, l'algorithme du projet PRIAD permet de prédire le taux de défaillance résultant du programme de maintenance.

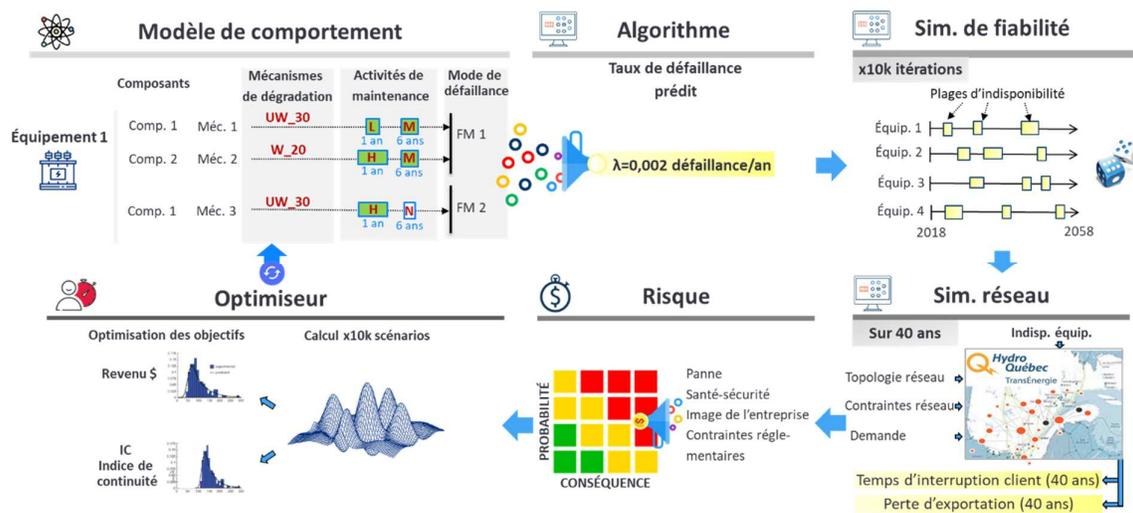


Figure 2 Illustration du processus PRIAD pour optimiser un scénario de maintenance

Le taux de défaillance permet de définir la distribution de probabilité de défaillance utilisée par le simulateur de fiabilité pour chaque famille d'équipements. Le simulateur génère alors une grande quantité de scénarios de défaillance et les indisponibilités qui y sont rattachées sur un horizon de 40 ans. Chaque scénario de disponibilité pour l'ensemble des équipements est utilisé comme une topologie de fonctionnement adaptée pour le réseau de transport. Le simulateur d'écoulement de puissance simule chaque scénario de topologie pour écouler dans le réseau la puissance produite vers la demande. Il est alors possible de voir l'impact combiné de différentes défaillances d'équipements sur le réseau et sur la capacité de celui-ci à répondre à la demande des clients. En fonction des résultats du simulateur de réseau, le module de risque permet de quantifier monétairement l'impact des défaillances en tenant compte d'autres exigences tangibles ou intangibles. Enfin, l'optimiseur peut être vu comme le chef d'orchestre qui définit l'ensemble des scénarios de maintenance à explorer pour tendre vers un scénario optimal permettant d'atteindre l'objectif demandé tout en respectant l'ensemble des contraintes énoncées.

La prédiction du taux de défaillance des familles d'équipements est l'élément de base du processus. Les modèles de comportement revêtent donc une grande importance. Ils doivent représenter le meilleur de nos connaissances actuelles pour chaque famille d'équipements en s'alimentant des expertises et des données historiques disponibles. Ces modèles doivent évoluer au fur et à mesure que de nouvelles connaissances (expertises ou données) sont disponibles.

4 CONCLUSIONS

Les différents modules d'amélioration décrits sont en cours d'élaboration afin de rendre la planification de la gestion des actifs à HQT plus efficace et robuste. Elles permettront ultimement d'obtenir une meilleure valeur de retombée de ses actifs. De nouvelles études de validation et d'essai sont prévues au fil du projet.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ISO 55000:2014, *Gestion d'actifs – Aperçu général, principes et terminologie*.
- [2] RHEIN, A., G. Balzer, P. von Wallbrunn et C. Fuhr. « Asset individual optimization of maintenance and replacement strategies in transmission systems », Actes du 20th International Symposium on High Voltage Engineering, Buenos Aires, Argentine, 2017, article 492.
- [3] LACROIX, T. et P. Stevenin. *Strategic asset management: a system driven approach on electrical transmission systems*. IEEE-Reliability Society, 2016.
- [4] *Preventive Maintenance Basis Database (PMBD), Quick Reference Guide*, EPRI, Palo Alto, Californie, 2017.
- [5] CONN, A.R., K. Scheinberg et L.N. Vicente. *Introduction to Derivative-Free Optimization*, MPS-SIAM Series on Optimization, MPS-SIAM, 2009
- [6] KOMLJENOVIC, D., D. Messaoudi, P. Larivière, S. Caron et R. Chahine. « Risk-Informed Decision-Making in Asset Management of Electrical Utilities », Cigré-Canada 2019, article 138