

La modélisation des systèmes complexes, un concept novateur pour la gestion des actifs des réseaux électriques

Complex system modelling, an innovative concept for asset management of electricity networks

M. GUISERIX – G. CHIQUILLO – J. BROWN
G. BARBAUD – H. BEN AMOR
The CoSMo Company
5 passage du Vercors
69007 Lyon

P. STEVENIN

Réseau de Transport d'Electricité
9 rue de la porte de Buc
78005 Versailles

Résumé

RTE et The CoSMo Company développent actuellement un nouvel outil appelé MONA (Management and Optimization of Network Assets). MONA est un outil de gestion stratégique des actifs à destination des gestionnaires de réseau de transport d'électricité, basé sur une analyse des risques. RTE utilise MONA pour justifier le financement des politiques de maintenance et de renouvellement de ses actifs physiques. MONA est un simulateur de systèmes complexes, ce qui lui permet de prendre en compte des interactions dynamiques et des contraintes qui sont difficilement modélisables par l'utilisation de méthodes de calcul analytique classiques. Bien que cet outil soit dans un premier temps développé spécifiquement pour les gestionnaires de réseau électrique, la modélisation devrait être suffisamment générique pour pouvoir être applicable à tout gestionnaire de réseau physique, pour peu que les spécificités de chaque gestionnaire soient implémentées.

Summary

RTE and The CoSMo Company have been developing a new tool called MONA (Management and Optimization of Network Assets). MONA is a strategic asset management tool for transmission system operators based on risk analysis. RTE uses MONA to justify the finance of maintenance and renewal policies of its physical assets. MONA is a complex system simulator, which allows to take into account dynamic interactions and constraints that can hardly be modeled using classical calculation analytic methods. Although MONA is firstly developed for transmission system operators, the model will be standardized enough to be usable for any other grid system operators, if every specifics are implemented.

Objectif et contexte

L'objectif de cette communication est de montrer la pertinence d'utiliser la modélisation par la simulation des systèmes complexes pour gérer les actifs physiques des réseaux de transport d'électricité.

Depuis le début des années 90, il devient de plus en plus difficile pour RTE, gestionnaire du réseau de transport d'électricité haute tension français, de construire de nouveaux ouvrages électriques, que ce soit en aérien ou en souterrain. Le réseau existant commençant à vieillir, il devient essentiel pour RTE de pouvoir s'appuyer sur un outil d'aide à la décision concernant la gestion de ses actifs physiques.

Dans ce cadre, RTE et The CoSMo Company ont formé un partenariat afin de développer un outil d'aide à la décision stratégique pour la gestion des actifs physiques des réseaux de transport d'électricité, du nom de MONA (Management and Optimization for Network Assets), qui puisse répondre à cette demande.

Méthode

1. Exigences

L'outil d'aide à la décision désiré par RTE doit répondre à plusieurs exigences. La première exigence concerne la représentation du réseau électrique sous forme d'un modèle devant intégrer plusieurs composants caractéristiques d'un gestionnaire de réseau de transport d'électricité ([5]) :

- La représentation des actifs physiques (équipements haute tension et basse tension),
- La représentation des politiques de renouvellement et de maintenance de ces actifs physiques,
- La représentation des contraintes de réseau inhérentes au maintien d'un certain niveau de qualité d'alimentation des clients (par exemple, lorsqu'un ouvrage électrique est coupé du réseau pour cause de maintenance, les ouvrages en service situés à proximité doivent être en mesure de supporter un apport supplémentaire de courant les traversant),
- La représentation des contraintes de ressources humaines, qu'elles soient internes (ex : équipes de maintenance) ou externes (ex : fournisseurs),
- La représentation des contraintes budgétaires, essentiellement au niveau des budgets prévisionnels.

La seconde exigence concerne la prise en compte, dans la représentation du réseau, des interactions dynamiques qui existent entre les équipements, les ressources, et les contraintes. Par exemple, le fait d'accélérer la réalisation d'une politique en particulier peut mener à un report de réalisation d'autres politiques en raison de contraintes liées aux ressources humaines.

La troisième exigence concerne les résultats des calculs devant impérativement comporter :

- Une analyse de risque se basant sur la prise en compte de plusieurs valeurs clé de performance appelées « Business Values (BV) », chacune étant mesurée à l'aide d'un ou de plusieurs indicateurs appelés « Key Performance Indicators (KPI) »
- Des indicateurs complémentaires à l'analyse de risque nécessaires à la prise de décision comme le nombre total de pannes, le ratio OPEX/CAPEX, les coûts de maintenance corrective, etc.

2. Définition d'un système complexe

L'outil MONA permet de répondre simultanément à ces trois exigences en combinant la simulation par les systèmes complexes avec une analyse de risque de type matricielle.

De nombreux scientifiques et intellectuels se sont penchés sur la question des systèmes complexes, notamment au niveau de la définition même de ce qu'est un système complexe ([4]). D'un point de vue modélisation, un consensus semble exister sur des propriétés communes à la plupart des systèmes complexes, que l'on peut présenter de la façon suivante :

- Le système est composé de plusieurs entités, chaque entité étant régie par un état qui le caractérise ainsi qu'une liste de règles. Ces entités peuvent être de types et de natures différentes.
- Les entités sont reliées entre elles par des interactions qui peuvent être de diverses natures : linéaires ou non, statiques ou dynamiques, d'ordre hiérarchique, etc.
- Le système est soumis à une dynamique, définie par des actions et un ordre de réalisation

Selon cette définition, la gestion des actifs du réseau électrique est clairement un système complexe. L'outil MONA, actuellement en cours de développement, est un logiciel de simulation qui permet de reproduire le comportement du système (actifs industriels – contraintes de gestion et de réseau – ressources mobilisées par les politiques) d'un état initial vers un état final par pas de simulation successifs.

3. Modèle conceptuel

L'outil MONA est élaboré à l'aide de CSS (CoSMo Simulation Suite), une plateforme de modélisation développée par The CoSMo Company. Cette plateforme se compose :

- D'un langage formel CoSML (Complex Systems Modeling Language)
- D'une interface homme machine permettant de créer certaines parties de modèle de façon plus graphique et intuitive
- D'un générateur automatique de code informatique permettant la création du simulateur à proprement parler
- D'une librairie de modèles génériques

La première phase consiste à décrire un modèle conceptuel. A l'aide du langage CoSML contenu dans la plateforme CSS, les modélisateurs formalisent les différents modèles transmis par les experts métiers RTE en modèles conceptuels CoSML indépendants, puis les intègrent en un seul modèle conceptuel global contenant chaque modèle conceptuel ainsi que les liens qui les unit. En particulier, MONA contient 7 modèles conceptuels :

- Modèle de réseau : décrit les contraintes de fonctionnement du réseau et les lois de comportement de ses actifs physiques
- Modèle de gestion des actifs : décrit les politiques de renouvellement et de maintenance
- Modèle de gestion des ressources humaines
- Modèle de budget : décrit les budgets prévisionnels ainsi que les dépenses
- Modèle d'analyse des risques
- Modèle de gestion de stock
- Modèle de planification des opérations : modèle simplifié de planification opérationnelle des travaux de réparation ou de remplacement des actifs sur une année calendaire.

Le langage CoSML offre diverses ontologies qui permettent de concevoir un modèle conceptuel complet à l'aide d'une structure de base assez simple. Au sein de la plateforme CSS, un modèle se compose :

- D'un ensemble d'entités composées de processus et de règles qui permettent de modifier leurs états (ex : l'entité « équipement » est composée du processus « vieillissement » qui vient modifier son état à chaque pas de temps)
- De relations entre les entités de nature :
- Verticale pour représenter leur composition (ex : l'entité « équipement » se compose de deux sous-entités « équipement unitaire » et « équipement linéique »)
- Horizontale pour décrire l'échange d'information entre entités voisines (ex : l'entité « équipement » transmet l'information « âge » à l'entité « planificateur »)
- Et des dynamiques organisées selon différentes échelles de temps (ex : le processus de planification des opérations va se dérouler avant le processus de vieillissement des équipements)

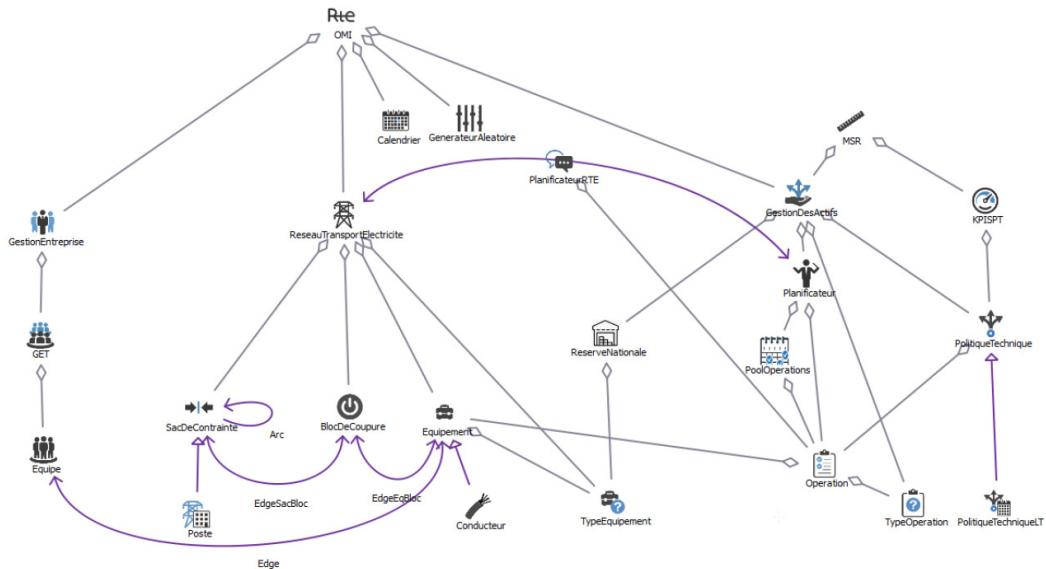


Figure 1. Représentation simplifiée du modèle conceptuel

4. Modèle instancié

A ce stade, le modèle n'est qu'une boîte vide qui ne représente que la structure d'un gestionnaire de réseau de transmission d'électricité.

La seconde phase consiste à instancier ce modèle conceptuel global, c'est-à-dire à le remplir de données caractéristiques du réseau RTE par rapport aux autres gestionnaires de réseau de transport d'électricité. Voici quelques exemples d'instanciations propres à RTE :

- Un parc d'équipements contenant 100 000 km de lignes, 12000 disjoncteurs, 1200 transformateurs de puissance,...
- Un grand nombre de politiques différentes : une politique de maintenance systématique pour la peinture des pylônes, une politique de maintenance conditionnelle pour les sectionneurs,...
- Des chroniques budgétaires annuelles pour toutes les politiques de renouvellement
- Des ressources humaines allouées géographiquement et par famille de matériels, et dont les nombres varient en fonction des saisons (moins de ressources en été)
- Une échelle des niveaux de gravité et des niveaux de risque adaptée à la taille du réseau de RTE

C'est lors de cette phase que les données d'entrée spécifiées par les utilisateurs interviennent. On peut distinguer deux catégories de données :

- Les données issues de bases de données de référence (ex : données patrimoniales, données cartographiques, ressources humaines,...). Il est possible de prévoir des passerelles plus ou moins automatisées entre les différentes bases de données et la plateforme de simulation.
- Les données qui ne sont issues d'aucune base de données de référence. Ces données sont généralement liées à l'expertise métier, et obtenues par des calculs, des analyses et/ou des dires d'expert (ex : paramètres des lois de comportement des équipements).

Une des difficultés rencontrées lors de l'élaboration du modèle conceptuel et de son instanciation concerne le niveau de précision du modèle et des données. Il convient de doser ce niveau de précision de manière à obtenir un ensemble qui soit cohérent. Ainsi, avoir un modèle très précis n'a pas d'intérêt s'il est alimenté par des données d'entrée de mauvaise qualité. Inversement, il n'est pas nécessaire d'avoir des bases de données exhaustives si le modèle est très approximatif. Pour MONA, nous calons ce niveau de précision par rapport aux données et modèles caractérisant les lois de comportement de nos équipements. Ce niveau peut varier au fur et à mesure de l'évolution du logiciel.

5. Simulateur

Ces deux phases sont réalisées au sein de la plateforme CSS. A l'issue de ces deux étapes, la plateforme CSS, au travers de la génération automatique de code, va créer le logiciel de simulation MONA, prêt à exécuter une ou plusieurs instances du modèle conceptuel global.

Ce type de construction de modèle possède deux avantages :

- Une modification de modèle est simple à réaliser car elle ne nécessite pas d'intervenir directement dans le code du simulateur. Il suffit en effet de modifier le modèle conceptuel et/ou son instanciation à l'aide de la plateforme CSS, puis de recréer le logiciel de simulation de manière automatique.
- La séparation entre modèle conceptuel et instanciation permet d'avoir un logiciel de simulation qui soit utilisable en l'état par d'autres gestionnaires de réseau électrique que RTE, s'ils sont en mesure de fournir les données d'entrée exigées pour permettre l'instanciation du modèle conceptuel.

6. Modèle de risque

Comme indiqué précédemment, parmi l'ensemble des modèles présents dans MONA, se trouve un modèle conceptuel d'analyse de risque. Le modèle métier qui lui est associé a été construit sur la base d'une analyse de risques de type matrice conséquence/probabilité ([3]) appliquée au domaine des réseaux électriques, et détaillée dans plusieurs brochures techniques ([1], [2]) issues du CIGRE (Comité International des Grands Réseaux Electriques), organisme de pré-normalisation du secteur de l'électricité. L'idée fondatrice est de placer sur un même plan, pour le calcul des risques, des éléments aussi différents que des coûts et des rejets environnementaux par exemple, par l'intermédiaire d'une « échelle de gravité » qui soit commune à chaque valeur clé de performance de l'entreprise (plus communément appelée Business Value) définie a priori par le gestionnaire de réseau. L'échelle de gravité en question possède 4 niveaux (Modéré, Sérieux, Sévère, Catastrophique). Pour un gestionnaire de réseau électrique, 7 Business Values différentes ont été identifiées :

- Impact financier : Business Value mesurée par un indicateur « Coût »
- Qualité de Service : Business Value mesurée par un indicateur « Energie Non Distribuée »
- Sécurité des tiers : Business Value mesurée par un indicateur « Accident »
- Image publique : Business Value mesurée par un indicateur « Impact médiatique »
- Environnement : Business Value mesurée par plusieurs indicateurs : « Incendie », « Rejet gaz SF6 », « Rejet Huile »
- Loi et Réglementation : Business Value mesurée par un indicateur « Litige »
- Niveau d'ingérence du régulateur : Business Value mesurée par un indicateur « Ingérence »

Business Value	Niveau de gravité			
	Modéré	Sérieux	Sévère	Catastrophique
Impact financier	< 1M€	Entre 1M€ et 10M€	Entre 10M€ et 100M€	> 100M€
Qualité de fourniture	< 100MWh	Entre 100MWh et 1GWh	Entre 1GWh et 10GWh	> 10GWh
Environnement	Impact local	Impact régional	Impact national	Perte de certification

Table 1. Exemple de matrice de gravité utilisée à RTE

En plus de cette matrice de gravité, nous disposons d'une matrice de risque qui croise la fréquence d'apparition des événements redoutés avec les niveaux de gravité. Cette matrice traduit l'acceptabilité des différents risques par le gestionnaire de réseau. En pratique, l'association de cette matrice des risques à la matrice de gravité nous permet de calculer un risque, relativement à chaque Business Value citée précédemment, par l'évaluation de leurs indicateurs respectifs. Nous pourrions tout à fait agglomérer l'ensemble de ces valeurs de risques pour aboutir à une valeur de risque unique global toutes Business Values confondues, mais nous préférons avoir une vision différenciée des risques par rapport à chaque Business Value, afin de prendre une décision qui soit la plus spécifique possible à la situation rencontrée.

Fréquence	Niveau de gravité			
	Modéré	Sérieux	Sévère	Catastrophique
Improbable				Orange
Rare			Orange	Rouge
Possible		Orange	Rouge	Noir
Probable	Orange	Rouge	Noir	Noir
Fréquent	Rouge	Noir	Noir	Noir
Très fréquent	Noir	Noir	Noir	Noir

Table 2. Matrice de risque¹ utilisée à RTE

En termes de modélisation, la formalisation de ce modèle de risque en modèle conceptuel CoSMIL se traduit dans MONA par un ensemble d'entité « Business Value » en relation verticale avec des entités « Indicateur ». L'entité « Business Value » peut être vue comme une entité mère, l'entité « Indicateur » comme une entité fille. Les entités « Indicateur » sont par ailleurs en relation horizontale avec les actifs physiques. Plus précisément, un indicateur de risque vient s'informer sur l'état de dégradation des actifs afin de mettre à jour son propre état par le biais de processus dédiés. En effet, ces processus transforment l'information de dégradation des équipements selon leurs dimensions mesurées (financière pour le risque financier, rejet d'huile pour le risque environnemental,...). De cette manière, les indicateurs de risque sont estimés au fur et à mesure de l'apparition des événements redoutés et de la progression de la simulation.

Compte tenu du fait que nous utilisons un outil de simulation qui permet d'obtenir toute la distribution statistique de chaque indicateur, il est possible d'obtenir une représentation des risques plus fine qu'une matrice conséquence x gravité. Ce n'est finalement qu'une brique du modèle général à modifier en conséquence. Pour cette première période de développement de l'outil, nous avons conservé la représentation des risques sous forme matricielle pour les raisons suivantes :

- Le management de RTE pilote ses décisions stratégiques à l'aide de cette matrice des risques, qui est validée et reconnue dans toute l'entreprise.
- Cela permet de faire accepter plus facilement l'outil aux différents utilisateurs qui ont l'habitude de cette représentation matricielle.
- Cette forme de représentation des risques est la plus utilisée chez les gestionnaires de réseau électrique, ce qui facilite le dialogue et l'adoption éventuelle de l'outil par d'autres gestionnaires de réseau que RTE.

7. Performances de calcul

¹ Classification des niveaux de risque : Blanc = Gestion aux conditions normales / Orange = Mise sous surveillance / Rouge = plan d'actions pour réduction du risque / Noir = Action immédiate

L'ensemble du système (plateforme CSS + logiciel MONA) est assimilable à n'importe quel logiciel de calcul scientifique classique au niveau de la place occupée sur un disque dur. En revanche, le niveau de performance de calcul requis pour un temps de calcul qui soit acceptable (quelques minutes), est difficilement quantifiable car il dépend de plusieurs facteurs :

- De la taille des données d'entrée (modèle instancié) : plus les bases de données sont importantes, plus le nombre de calculs sera important
- De la précision du modèle (modèle conceptuel) : plus le modèle sera précis, plus le traitement d'un calcul unitaire sera long
- Des données d'entrée régissant les contraintes entre entités (modèle instancié) : plus les contraintes sont fortes, plus le nombre d'itérations permettant d'aboutir à un état stable du système sera important.

La variation individuelle ou simultanée de ces facteurs peut entraîner des modifications de performance de calcul de manière drastique : à titre d'exemple, lors d'une étape de validation de modèle, la modification d'un paramètre lié aux opérations de maintenance a fait passer le temps de calcul d'une seule simulation de quelques minutes à plusieurs heures. Cet exemple nous montre en particulier qu'il n'est pas possible de prédire à l'avance les temps de calcul suite à modification du modèle conceptuel ou du modèle instancié.

8. Protocoles de simulation

Du fait de l'implémentation de lois de comportement dans notre modèle, les simulations réalisées sont de nature stochastiques. Pour être certain de la stabilité des résultats des analyses de risque, il est alors nécessaire d'introduire du Monte Carlo, par l'intermédiaire de protocoles de simulation : nous jouons une même simulation un certain nombre de fois, et nous intégrons dans nos résultats les variations statistiques des analyses de risques afin de vérifier la sensibilité du caractère aléatoire. A l'heure actuelle, nous n'avons pas encore réalisé d'analyses permettant de déterminer le nombre de simulations nécessaire pour obtenir une bonne convergence des résultats. Compte tenu de la complexité du système, ce nombre devrait en théorie être particularisé à chaque version de l'outil.

Résultats

Les analyses de risques menées dans MONA sont menées par comparaison entre différents scénarii. Nous savons que les différents modèles ne reflètent pas exactement la réalité, et qu'ils ne pourront jamais le faire. Aussi est-il dangereux de considérer que les valeurs absolues fournies par un seul scénario soient valables en l'état. En revanche, des valeurs relatives par comparaison de différents scénarii entre eux sont envisageables.

En dépit du fait que nous soyons encore au début du développement de l'outil, nous disposons d'ores et déjà de résultats probants qui montrent tout l'intérêt d'utiliser la simulation des systèmes complexes comme outil d'analyse de risque. Ces résultats sont issus de deux étapes :

- Validation du modèle : la validation de l'implémentation de divers éléments de modèle montre très clairement que la prise en compte des interactions dynamiques explicitées précédemment permet d'identifier des risques dans des phases transitoires des politiques de gestion indécélables autrement. La validation du modèle a été menée de façon incrémentale par rajouts successifs d'éléments de modèle, en partant du modèle le plus simple actuellement utilisé chez RTE. Comme indiqué précédemment, nous avons systématiquement recours à des protocoles de simulation. Compte tenu des éléments de modèle actuellement implémentés dans MONA, nous observons des écarts types assez faibles comme le montre la figure suivante.

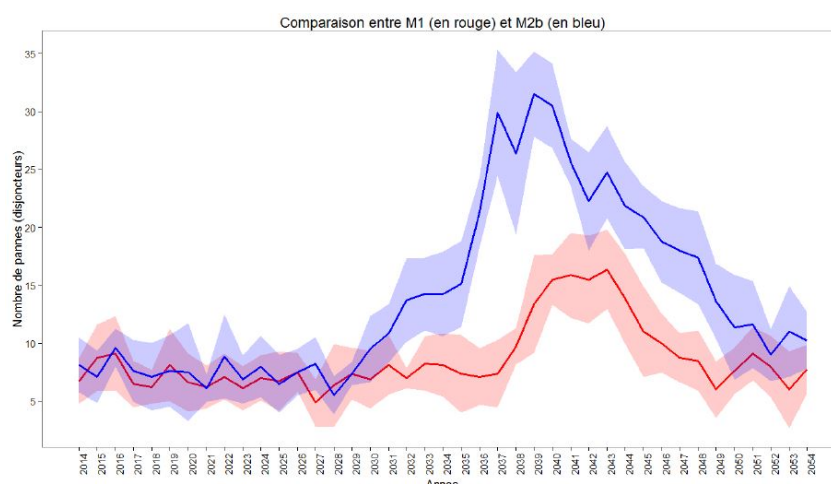


Figure 2. Nombre de pannes de disjoncteurs sur 1/30^{ème} du réseau France (modèle sans contrainte réseau – courbe en rouge² et avec contrainte réseau – courbe en bleu)

- Cas d'étude : à la demande du Centre Nationale d'Expertise Réseau (CNER) de RTE, un cas d'étude a été réalisé. Il concerne le renouvellement des câbles oléostatiques de la région parisienne. RTE dispose de près de 250 km de

² La courbe principale représente la valeur moyenne sur plusieurs simulations. La bande d'incertitude représente l'intervalle [valeur moyenne + écart type ; valeur moyenne - écart type]

câbles oléostatiques (câble à huile sous pression), dont une grande partie en région parisienne. Malheureusement, ces câbles ont un taux de défaillance relativement élevé. Deux options techniques sont envisagées pour renouveler ces câbles : remplacer les anciens câbles en lieu et place par des câbles synthétiques (câbles en polyéthylène réticulé) plus récents et plus fiables, à l'aide d'une opération appelée rétrofitting, ou reconstruire à proximité de la ligne existante une nouvelle ligne souterraine équipée de câbles synthétiques. La question posée par le CNER est de savoir quelle est l'option la plus pertinente entre ces deux possibilités, relativement aux risques pris (les Business Values principales étudiées étant l'environnement et qualité de fourniture). Compte tenu des diverses interactions dynamiques (vieillesse qui dépend de la maintenance et de l'exploitation du réseau, maintenance et renouvellement qui dépendent des ressources disponibles,...), MONA se prête bien à ce type d'analyse. Les résultats obtenus nous donnent quelques tendances :

- Les deux scénarios extrêmes « tout en rétrofitting » (Scénario S10 dans les graphiques) et « tout en reconstruction » (Scénario S0 dans les graphiques) sont assez similaires. En faisant varier les paramètres d'entrée du modèle permettant de moduler les deux scénarios extrêmes en mixant opérations de rétrofitting et opérations de reconstruction, on s'aperçoit qu'il n'existe pas de scénario divergent qui conduirait à une explosion du nombre de défaillances de ces câbles. A contrario, aucun scénario ne se détache nettement comme étant le meilleur en utilisant le seul indicateur END (Energie Non Distribuée en MWh).

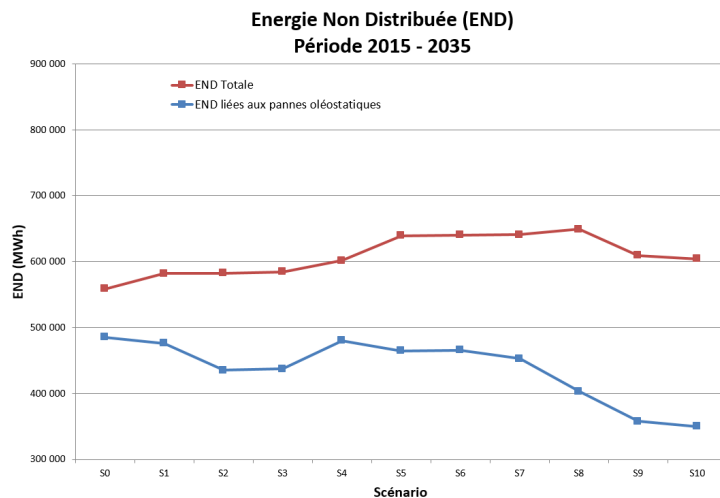


Figure 3. Energie Non Distribuée (END) en MWh selon différents scénarios³

- Si les écarts en termes d'END entre les différents scénarios ne sont pas significatifs, on observe toutefois une tendance à la diminution du nombre de pannes si l'option « rétrofitting » est privilégiée. Pour cette raison, le scénario « tout en rétrofitting » est pour le moment celui qui a été retenu.

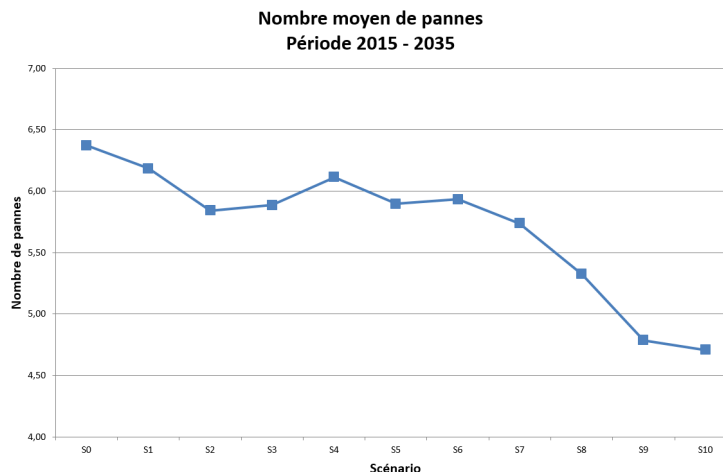


Figure 4. Nombre moyen de pannes (tout équipement confondu) selon différents scénarios

- Compte tenu des résultats précédents qui ne permettent finalement pas de conclure de manière ferme et définitive sur un scénario optimal, une étude complémentaire sera réalisée pour préciser quelques

³ Les différents scénarios S0 à S10 sont élaborés en fonction de la contrainte de réseau des ouvrages : dans le scénario S0, toutes les lignes équipées de câbles oléostatique sont reconstruites (contrainte de réseau très forte, qui interdit le retrait des ouvrages du réseau pour travaux). Dans le scénario S10, toutes les lignes équipées de câbles oléostatiques sont rétrofittées (contraintes de réseau très faible, autorisant le retrait simultané de plusieurs ouvrages du réseau). Les scénarios intermédiaires voient leurs contraintes réseau respectives réparties uniformément entre ces deux bornes S0 et S10.

éléments du modèle, notamment les délais de reconstruction des câbles (études d'impact, concertations,...) en fonction de la géographie des lieux, ainsi que le calcul des indicateurs de risques liés à l'image (la région parisienne est une région très sensible de ce point de vue) et à l'environnement, actuellement mal pris en compte dans nos analyses de risque.

Comme pour tout développement d'outil, une analyse de risque intrinsèque a été menée, au cours de laquelle quelques points d'attention ont été soulevés : le premier concerne le temps de calcul. Même si cela ne semble a priori pas une barrière à la réalisation de l'outil, cela peut conduire à une augmentation des temps de développement permettant de réduire ces temps de calcul. Le second point concerne le niveau de précision qu'il faut apporter au modèle : en théorie, nous pouvons modéliser le système dans ses moindres détails, mais une modélisation trop fine du modèle risque de nous faire tomber dans le piège du chaos déterministe dans lequel une petite variation de donnée d'entrée mène à des résultats divergents. De plus, trop de précision apportée au modèle peut mener à de réelles difficultés d'interprétation des résultats. Enfin, et ceci est inhérent à la démarche, la validation des résultats de simulation reste un point central des travaux à venir.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Comité de Programme du congrès Lambda Mu pour leur relecture attentive de cette communication et des commentaires constructifs qui ont été émis afin de pouvoir l'enrichir. Les auteurs tiennent également à remercier les experts du CNER de RTE ainsi que l'ensemble de l'équipe projet de The CoSMo Company dédiée à MONA pour tout le travail réalisé jusqu'à maintenant.

Références

- [1] CIGRE Technical Brochure 309, 2006, "Asset management of transmission systems and associated CIGRE activities", CIGRE
- [2] CIGRE Technical Brochure 597, 2014, "Transmission asset risk management – Progress in application", CIGRE
- [3] ISO 31010, 2009, "Risk assessment – Risk assessment techniques"
- [4] IMdR, 2014, "Etat de l'art des méthodes et outils innovants pour la modélisation des systèmes complexes", IMdR
- [5] T. Lacroix et al, 2016, "Strategic asset management: a system driven approach on electrical transmission systems", IEEE-Reliability Society