

Modèle de gestion des actifs

Table des matières

1 Mise en contexte 5

1.1 La stratégie de pérennité..... 5

1.2 Évolution vers un modèle de gestion des actifs combinant maintenance et pérennité..... 5

1.3 Une dégradation et une perte de fiabilité constatée 7

 1.3.1 Accroissement des IF constaté..... 8

 1.3.2 Limite des mesures compensatoires 8

2 Réponses aux demandes de la Régie dans la décision D-2018-021 9

2.1 Démonstration de la corrélation entre le comportement des sectionneurs et transformateurs de puissance avec ceux étudiés par l'EPRI 9

2.2 Outils permettant de simuler l'effet d'une maintenance insuffisante..... 10

2.3 Scénarios alternatifs 11

 2.3.1 Gestion du risque et simulations de stratégies 11

 2.3.2 Rappel des scénarios présentés dans les dossiers antérieurs..... 12

 2.3.3 Scénarios alternatifs supplémentaires en maintenance 16

2.4 Évolution des impacts de la maintenance réalisée..... 19

 2.4.1 Suivis proposés à la Régie 20

 2.4.2 Analyse du comportement du préventif versus le correctif 20

 2.4.3 Suivi des indisponibilités forcées..... 22

 2.4.4 Suivi du taux de risque en maintenance réel versus le taux simulé..... 22

2.5 Calibrage du MGA 24

2.6 Analyses statistiques 25

3 Conclusion 26

Liste des figures

Figure 1 Hausse des heures de maintenance requises en fonction de la durée de vie 6

Figure 2 Évolution du taux de risque en pérennité..... 14

Figure 3 Évolution du risque en maintenance..... 15

Figure 4 Évolution de l'impact à la marge sur les revenus requis 16

Figure 5 Graphique d'évolution du risque en maintenance 17

Figure 6 Tendance de la maintenance préventive et corrective..... 21

Figure 7 Évolution du taux de risque..... 23

Figure 8 Évolution du coût moyen par intervention pour les modèles de l'appareillage électrique 26

1 Mise en contexte

1 Cette section présente l'historique de la gestion des actifs du réseau de transport du
2 Transporteur, rappelant la justification de la stratégie de pérennité en 2008, et
3 finalement présentant l'évolution vers le modèle de gestion des actifs (« MGA »).

1.1 La stratégie de pérennité¹

4 La majorité des actifs du réseau de transport d'électricité pour le volet poste ont atteint la
5 deuxième phase de leur vie utile. Avec la stratégie adoptée en 2008, le Transporteur
6 contrôle le vieillissement de son réseau. Toutefois, la vague d'équipements qui
7 dépasseront leur vie utile au cours des prochaines années demeure préoccupante et
8 requiert une bonne maîtrise de leur dégradation et de leur vieillissement, comme
9 anticipé par le Transporteur dès 2008². Conséquemment, différents scénarios ont été
10 envisagés afin d'estimer le niveau d'investissement requis pour stabiliser l'âge moyen du
11 parc. Le scénario d'investissement autorisé, nommé stratégie de gestion de la pérennité
12 des actifs, prévoit et accepte un accroissement graduel et contrôlé de l'âge moyen du
13 parc.

1.2 Évolution vers un modèle de gestion des actifs combinant maintenance et pérennité³

14 La hausse contrôlée de l'âge moyen du parc entraîne des effets importants sur la
15 maintenance requise. La Figure 1⁴, illustre bien ce phénomène.

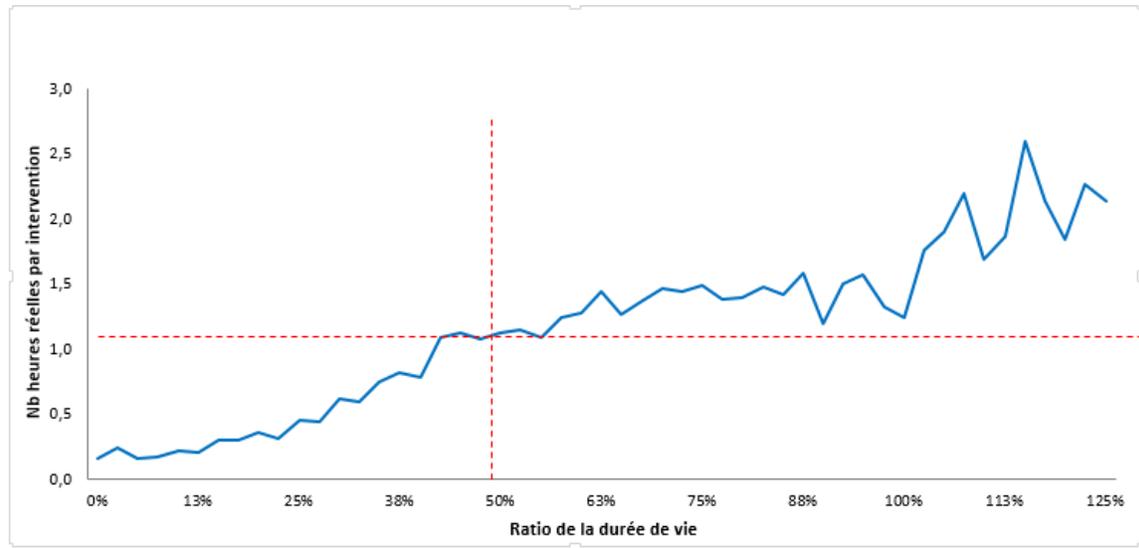
¹ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, p. 10 et 11.

² R-3670-2008, HQT-2, Document 1, p. 91.

³ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, p. 11 et 12.

⁴ R-3934-2015, HQT-3, Document 1, p. 6.

Figure 1
Hausse des heures de maintenance requises en fonction de la durée de vie



1 On y constate que les heures de maintenance requises augmentent de manière très
2 significative au-delà de 50 % de la durée de vie de l'actif, ce qui représente un bon
3 indice de la hausse de maintenance requise pour maintenir la fiabilité.

4 D'ailleurs, la nécessité d'adapter la maintenance préventive au vieillissement du parc
5 d'actifs du Transporteur avait été annoncée dès 2008⁵, comme étant le meilleur moyen
6 de contrôler l'augmentation des défaillances anticipées.

7 « Le vieillissement croissant du parc au cours de la prochaine décennie sera
8 accompagné d'un accroissement significatif du pourcentage des
9 équipements à risque. Un accroissement normal de la maintenance est à
10 prévoir. D'une part le niveau de maintenance corrective qui est proportionnel
11 à l'âge du parc ne peut que suivre ces tendances. D'autre part, la saine
12 gestion dicte d'augmenter la maintenance préventive pour détecter les
13 symptômes précurseurs en fin de vie des équipements. L'expérience et la
14 documentation en matière de gestion des actifs indiquent que ces
15 symptômes apparaissent généralement peu de temps avant la fin de vie»⁶.

16 Le Transporteur rappelle que le nombre d'actifs ayant atteint un âge supérieur ou égal à
17 plus de 50 % de leur durée de vie s'est accru au cours des dix dernières années et
18 continuera de croître selon la stratégie d'investissement autorisée, entraînant un
19 accroissement des besoins en maintenance.

⁵ R-3670-2008, HQT-2, Document 1, p. 91.

⁶ R-3823-2012, HQT-3, Document 1, p.17.

1 Pour cette dernière raison et pour mieux contrôler particulièrement l'impact potentiel sur
2 la sécurité, la fiabilité et la disponibilité du réseau, le Transporteur a jumelé en 2013⁷ la
3 stratégie de gestion de la pérennité des actifs à la stratégie de maintenance pour en
4 faire un modèle intégré et complet de gestion des actifs (MGA). Par l'optimisation de
5 ses activités d'investissements et de maintenance, le Transporteur vise à poser le
6 meilleur geste au moment opportun et au meilleur coût.

1.3 Une dégradation et une perte de fiabilité constatée

7 Toujours en lien avec sa stratégie de pérennité, au dossier tarifaire 2017⁸, le
8 Transporteur a déposé une nouvelle preuve justifiant la nécessité d'adapter le niveau de
9 maintenance à l'âge de ses actifs. La stratégie de maintenance adaptée présentée
10 mettait en relation :

- 11 a) le vieillissement contrôlé du parc d'actifs du Transporteur conformément à la
12 stratégie de pérennité adoptée en 2008, lequel est mesuré par le taux de risque
13 en pérennité ;
- 14 b) la dégradation accélérée des équipements en raison de l'accroissement de
15 l'âge moyen des actifs, laquelle est mesuré par le taux de risque en
16 maintenance ;
- 17 c) un détournement du budget de la maintenance préventive vers la maintenance
18 corrective⁹ ;
- 19 d) l'effet d'entraînement possible (effet de « spirale ») ;
- 20 e) l'accroissement important des indisponibilités forcées (« IF ») attribué à cette
21 dégradation supplémentaire ;
- 22 f) une prévision d'une période transitoire de hausse des IF basée sur la
23 corrélation entre le taux de risque en maintenance et les IF, ainsi que les
24 résultats de simulation ;
- 25 g) l'atteinte de la limite des mesures compensatoires pour maintenir la fiabilité,
26 disponibilité et la sécurité du réseau.

⁷ R-3823-2012, HQT-3, Document 1, p.17.

⁸ R-3981-2016, HQT-3, Document 1 et 1.1.

⁹ Voir section 2.4.2.

1 De plus, au dossier tarifaire 2018¹⁰, la preuve de rentabilité établissait un lien entre la
2 hausse des IF et une perte de productivité nuisant à la réalisation la stratégie de
3 maintenance (effet perturbateur¹¹).

1.3.1 Accroissement des IF constaté

4 Finalement, les résultats déposés dans les demandes tarifaires 2017¹² et 2018¹³
5 démontrent une augmentation réelle des IF. Le Transporteur rappelle qu'il existe une
6 corrélation entre l'augmentation de la maintenance corrective, les risques (maintenance
7 et pérennité) et les IF.

8 *« La tendance à la hausse des IF observée au cours des 5 dernières*
9 *années, présentée à la figure 6, est préoccupante. Une hausse continue du*
10 *nombre d'IF au cours des prochaines années mettrait à risque les objectifs*
11 *du Transporteur de prioriser la sécurité du public et des employés, la fiabilité*
12 *et la disponibilité du réseau de même que ses efforts de productivité. En*
13 *vertu du principe de précaution, le Transporteur juge essentiel de limiter la*
14 *hausse des IF. Il doit adapter ses efforts pour redresser adéquatement la*
15 *dégradation de ses actifs »*¹⁴.

1.3.2 Limite des mesures compensatoires

16 Comme mentionné dans les dossiers tarifaires 2017¹⁵ et 2018¹⁶, le Transporteur estime
17 de manière prudente avoir atteint les limites des mesures compensatoires mises en
18 place. Ces mesures sont :

- 19 • le rehaussement du nombre et de la qualité des alarmes ;
- 20 • le remplacement d'installations et de sous réseaux vétustes et désuets par des
21 réseaux modernes offrant une meilleure redondance ;
- 22 • une meilleure automatisation.

¹⁰ R-4012-2017, HQT-3, Document 1.2 section 4.5 « impact sur la productivité ».

¹¹ HQT-3, Document 1, section 3.

¹² R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1.

¹³ R-4012-2017, HQT-13, Document 2.

¹⁴ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, p. 34.

¹⁵ R-3891-2016, N.S. du 18 nov. 2016, p. 173, lignes 23 à 25.

¹⁶ R-4012-2017, HQT-3, Document 1.1, p. 20, lignes 23-24 et p. 21, lignes 1-2.

2 Réponses aux demandes de la Régie dans la décision D-2018-021

2.1 Démonstration de la corrélation entre le comportement des sectionneurs et transformateurs de puissance avec ceux étudiés par l'EPRI¹⁷

1 « [...] inclure, dans son dossier tarifaire, une démonstration à l'effet que le
2 comportement de ses sectionneurs et transformateurs de puissance
3 correspond à celui des modèles de l'EPRI. Elle lui demande également de
4 produire une validation de l'approche visant à utiliser la corrélation aux
5 courbes EPRI »

6 Le Transporteur rappelle qu'il ne dispose pas de modèles de comportement de ses
7 sectionneurs et transformateurs de puissance et donc, il ne peut les comparer à ceux de
8 l'EPRI.

9 Les modèles de l'EPRI sont réalisés en consortiums industriels et validés à grande
10 échelle par l'industrie pour en dégager un consensus¹⁸. Le Transporteur ne cherche
11 donc évidemment pas à valider l'approche ou les résultats de l'EPRI.

12 Les modèles de l'EPRI ont pour principal intrants les mécanismes de défaillances des
13 appareils. Or, ces derniers mécanismes dépendent de phénomènes physiques dont le
14 comportement est universel.

15 Dans l'industrie, par exemple, pour assurer la sécurité, la maintenance préventive est
16 calibrée en fonction des variables (les mécanismes de dégradation et l'effet des activités
17 de maintenance sur ceux-ci) ayant le plus d'effet sur la fiabilité d'un actif. Cette approche
18 de la maintenance, qui cible avant tout la fiabilité, est connue sous l'acronyme anglais
19 populaire *Reliability centered maintenance* (« RCM »). Les RCM permettent d'évaluer le
20 comportement d'un actif selon la maintenance préventive qu'il reçoit. Ils sont donc des
21 intrants au modèle *PMBasis* de l'EPRI.

22 Les mécanismes de dégradation des sectionneurs et transformateurs de puissance ont
23 été analysés, selon l'approche des RCM, par le Transporteur en collaboration avec les
24 experts de l'IREQ. Ceux-ci confirment qu'il existe une correspondance entre les
25 mécanismes de défaillances des transformateurs et des sectionneurs du Transporteur et
26 ceux analysés par l'EPRI.

27 Les analyses RCM ont été conduites par les équipes de chercheurs de l'IREQ et les
28 équipes d'expertise du Transporteur, pendant plusieurs mois durant les années 2017 et
29 2018, sur les équipements ciblés par l'étude. Les lois physiques de dégradation

¹⁷ D-2018-021, par. 95, p. 33.

¹⁸ Voir à ce sujet la page internet d'EPRI donnant les grandes lignes de leur mission :
www.epri.com/#/about/epri?lang=en (en anglais).

1 affectant les différents composants ont été déterminées de façon spécifique pour les
2 transformateurs de puissance (~14 mécanismes) et les sectionneurs (~18 mécanismes).
3 Ces analyses démontrent que la majorité des mécanismes de dégradations subies par
4 nos équipements représentent les mêmes intrants que la « PMBasis » d'EPRI.

5 Le Transporteur et les experts de l'IREQ¹⁹ confirment que la similitude constatée avec
6 l'EPRI et l'universalité des phénomènes de dégradation physique sont suffisants pour
7 démontrer que le comportement des sectionneurs et transformateurs correspond à ceux
8 des modèles de l'EPRI et ainsi confirmer que l'approche utilisée est adéquate.

2.2 Outils permettant de simuler l'effet d'une maintenance insuffisante²⁰

9 « [...] faire état, dans le cadre de son prochain dossier tarifaire, des outils qui
10 pourraient lui permettre de simuler l'effet d'une maintenance insuffisante pour
11 l'ensemble de ses familles d'actifs, incluant celles partiellement couvertes par
12 l'EPRI. »

13 Le Transporteur tient à souligner que les outils permettant de faire de telles simulations
14 pour les équipements d'un réseau de Transport à moyenne, haute et très haute tension
15 n'existent pas sur les marchés. La complexité étant de colliger un très grand nombre
16 d'informations sur les défaillances, les dégradations et les interventions en maintenance.
17 Ce qui explique pourquoi les transporteurs d'électricité s'associent à des consortiums
18 comme l'EPRI qui recueille et analyse de telles données. Malgré tout, les données
19 nécessaires pour ces analyses statistiques sont généralement insuffisantes ou
20 inexistantes pour permettre aux algorithmes de converger. Dans certains domaines où
21 la sécurité est critique (ex : nucléaire, aéronautique et aérospatiale) et l'aspect
22 économique n'est pas un enjeu, des modèles exploratoires pour des systèmes
23 réparables ont été développés. Toutefois leur application reste limitée à un nombre
24 restreint d'équipements et aucun modèle n'a pu démontrer sa versatilité et sa viabilité
25 économique pour des utilités électriques. Ceci explique en partie une des difficultés de
26 développement de tels modèles.

27 Également, le Transporteur tient à rappeler que les stratégies retenues par celui-ci, sont
28 proactives et ce, malgré le vieillissement du réseau et ne dictent pas un laisser aller vers
29 une dégradation de ses actifs qui engendrerait d'une perte de contrôle du risque de
30 maintenance. Puisque ce scénario n'a jamais été envisagé, car il va à l'encontre de la
31 mission du Transporteur, il est normal que le Transporteur n'est pas développé de tels
32 outils.

¹⁹ Voir la lettre à l'annexe 1.

²⁰ D-2018-021, par. 98, p. 34.

1 Enfin, à la lumière du retour de l'expérience opérationnel de 2017 sur la difficulté de
2 réaliser la stratégie de maintenance pour les différentes raisons énumérées dans la
3 pièce HQT-3, Document 1, le Transporteur est actuellement en démarche prospective
4 avec l'IREQ afin de développer de tels outils et compiler de telles informations.

2.3 Scénarios alternatifs

5 « [...] produire, dans le cadre de son prochain dossier tarifaire, des scénarios
6 alternatifs à partir du modèle MGA, en identifiant le scénario à partir duquel le
7 risque additionnel devient important en fonction de différentes enveloppes
8 budgétaires de maintenance additionnelle considérées »²¹.

9 Afin de mettre en contexte les scénarios alternatifs, le Transporteur juge nécessaire de
10 rappeler brièvement certaines notions et conclusions associées au MGA.

2.3.1 Gestion du risque et simulations de stratégies

11 Le Transporteur rappelle que puisque la dégradation et le vieillissement ne peuvent pas
12 être directement mesurés, la comparaison de scénarios est donc basée sur une analyse
13 où les bénéfices comparatifs sur le vieillissement sont exprimés par les tendances du
14 taux de risque en pérennité et les bénéfices comparatifs sur la dégradation sont
15 exprimés par les tendances du taux de risque en maintenance.

16 Voici un rappel sur les intrants au calcul du risque en pérennité et en maintenance :

17 « [Pour chaque actif,] le risque d'une défaillance est quantifié par le produit
18 de deux grands paramètres : la probabilité d'une défaillance et l'impact de
19 cette défaillance. [...] Une hausse de la probabilité de défaillances augmente
20 le risque et est un prédicteur corrélé au nombre d'IF.²²

21 Une priorisation en fonction du risque est implantée dans le simulateur. Cette
22 priorisation permet de gérer le choix des interventions à reporter, lorsque des
23 contraintes sont appliquées sur le résultat total annuel. Dépendamment des
24 scénarios élaborés, des contraintes annuelles peuvent être appliquées, par
25 exemple en volumes d'équipements, en nombre d'heures disponibles ou bien
26 en termes de ressources financières. »²³

²¹ D-2018-021, par. 35, p. 41.

²² R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1 p. 40.

²³ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1 p. 52.

2.3.2 Rappel des scénarios présentés dans les dossiers antérieurs

1 Le Transporteur tient à souligner que ces scénarios ont tous fait l'objet d'analyse
2 économique, comme recommandé par le Centre interuniversitaire de recherche en
3 analyse des organisations (« CIRANO »). Ces analyses reposaient sur les rendements
4 obtenus en fonction des dollars et du risque.

5 Le Transporteur a déjà présenté plusieurs scénarios de pérennité dans le cadre de la
6 demande d'investissement 2009²⁴ et a également démontré, avec les scénarios
7 présentés dans la demande tarifaire 2017²⁵, que le scénario de « maintenance adaptée »
8 permet un meilleur contrôle des risque à moindre coût comparativement à un
9 rehaussement des investissements.

10 Les scénarios présentés à la demande tarifaire 2017 étaient les suivants :

- 11 1. Scénario A - Situation actuelle
- 12 2. Scénario B - Maintien de l'âge
- 13 3. Scénario C - Accroître la pérennité
- 14 4. Scénario D - Maintenance adaptée

15 Le Transporteur présente un bref résumé de l'analyse²⁶ des éléments ayant conditionné
16 le choix du scénario de maintenance adaptée par opposition au maintien du budget de
17 maintenance autorisée en 2016 :

- 18 1. *«La hausse contrôlée de l'âge du parc recommandée en 2008 demeure*
19 *nécessaire pour éviter un impact majeur sur les revenus requis. Cette*
20 *augmentation de l'âge entraîne un vieillissement des actifs qui se reflète par*
21 *une hausse contrôlée du taux de risque en pérennité depuis 2008 ;*
- 22 2. *La hausse contrôlée de l'âge moyen du parc a également un effet sur la*
23 *dégradation qui se reflète par une hausse du risque en maintenance ;*
- 24 3. *En maintenant à long terme le budget de maintenance de 2016, la dégradation*
25 *des composants des actifs (le risque en maintenance) atteindrait un niveau*
26 *considérable et se stabiliserait à un niveau significativement plus élevé que*
27 *celui de 2016, ayant ainsi un impact négatif sur la fiabilité jugé insoutenable par*
28 *le Transporteur ;*

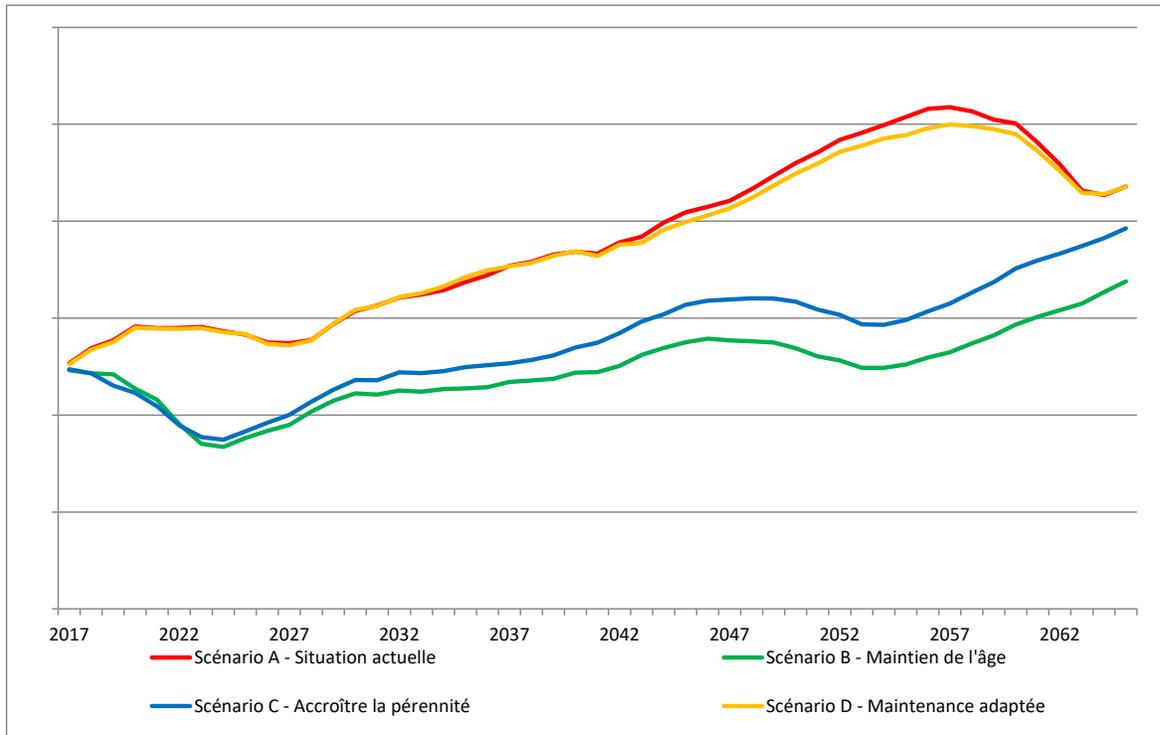
²⁴ R-3670-2008.

²⁵ R-3891-2016, HQT-3, Document 1.1, section 5.4.

²⁶ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, p.64-65.

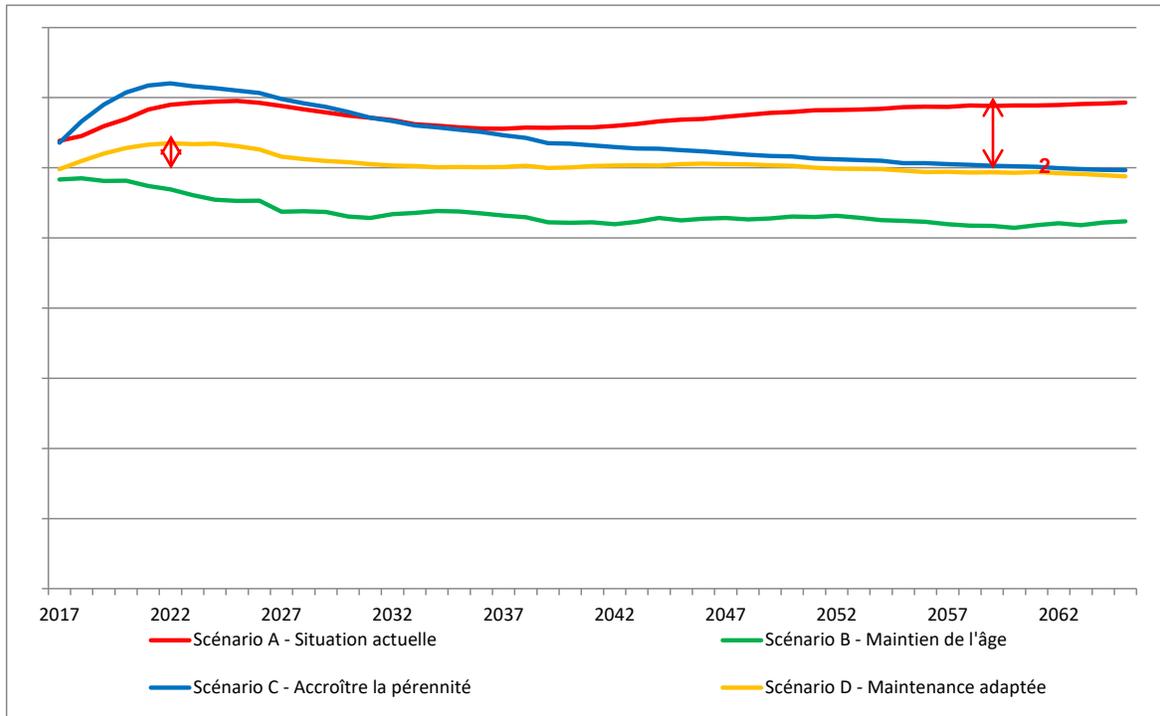
- 1 4. *Une hausse significative des investissements en maintien des actifs, en plus*
2 *d'avoir un impact majeur sur les revenus requis, n'est pas une solution qui*
3 *permet de contrôler le risque en maintenance à un niveau acceptable ;*
- 4 5. *Le scénario « MAINTENANCE ADAPTÉE » permet de limiter la dégradation du*
5 *parc (risque en maintenance) et donc de maintenir la fiabilité à un niveau*
6 *comparable au niveau de 2016. Ce scénario implique par contre une période*
7 *transitoire d'une dizaine d'années où le risque en maintenance sera*
8 *modérément plus élevé que celui de 2016. Les effets précis de cette hausse du*
9 *risque restent à mesurer, ce qui pourrait éventuellement nécessiter un*
10 *réajustement limité du budget de maintenance au cours des prochaines*
11 *années ;*
- 12 6. *Le scénario « MAINTENANCE ADAPTÉE » est jugé réalisable du point de vue*
13 *organisationnel, financier et technique, compte tenu des paramètres de*
14 *simulation qui limitent les accroissements de ressources à des niveaux*
15 *réalisables ;*
- 16 7. *Le scénario « MAINTENANCE ADAPTÉE » a un impact à court terme sur les*
17 *revenus requis mais de moindre ampleur à long terme que les autres scénarios*
18 *analysés.»*

Figure 2
Évolution du taux de risque en pérennité²⁷



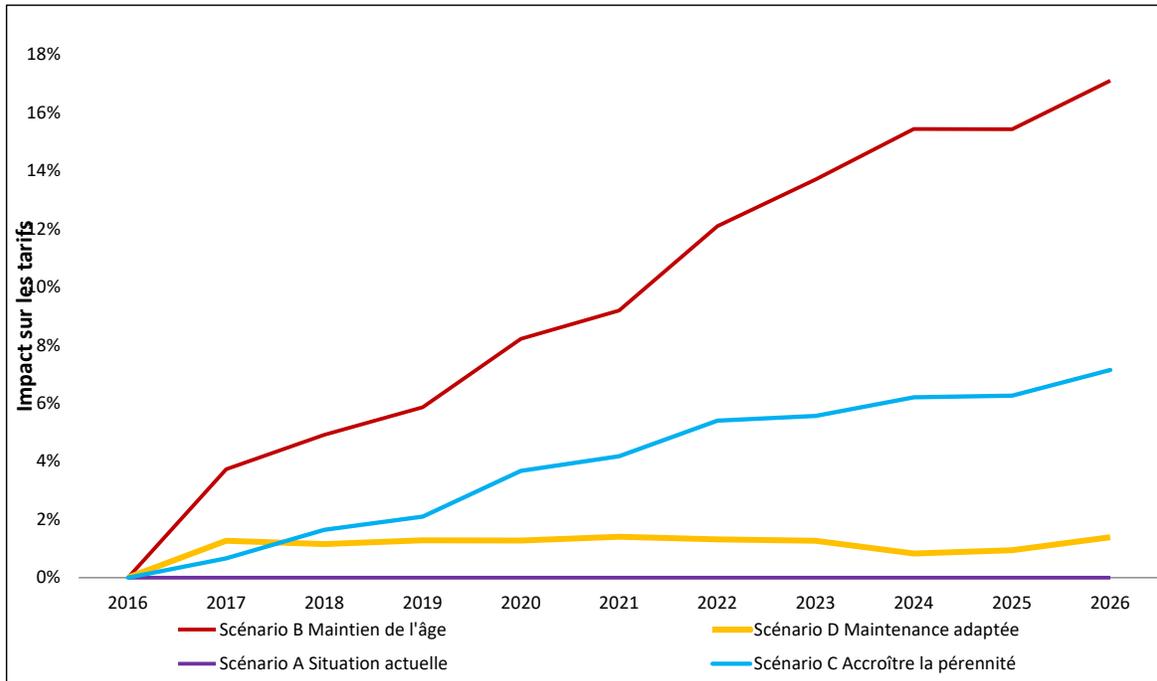
²⁷ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, p.58. Le numéro original de la figure a été ajusté à la présente pièce.

Figure 3
Évolution du risque en maintenance²⁸



²⁸ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, p.59. Le numéro original de la figure a été ajusté à la présente pièce.

Figure 4
Évolution de l'impact à la marge sur les revenus requis²⁹



2.3.3 Scénarios alternatifs supplémentaires en maintenance

1 Le Transporteur présente une démonstration avec des scénarios alternatifs
2 supplémentaires afin de mieux apprécier la justesse du niveau monétaire demandé en
3 maintenance adaptée ainsi que la sensibilité des effets potentiels suite à une variation
4 du montant autorisé.

5 Le Transporteur a simulé des scénarios supplémentaires (scénarios E et F) qui
6 s'ajoutent à deux des scénarios présentés à la section 2.3.2. Le Transporteur présente
7 une comparaison des 4 scénarios suivants :

- 8 • Scénario A : maintien du budget autorisé 2016 (scénario de référence) ;
- 9 • Scénario D : « maintenance adaptée » avec une mise à niveau budgétaire de
10 54 M\$ de coûts directs à pied d'œuvre³⁰ ;
- 11 • Scénario E : « maintenance adaptée » avec une mise à niveau budgétaire de
12 34 M\$ de coûts directs à pied d'œuvre;

²⁹ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, p.60. Le numéro original de la figure a été ajusté à la présente pièce.

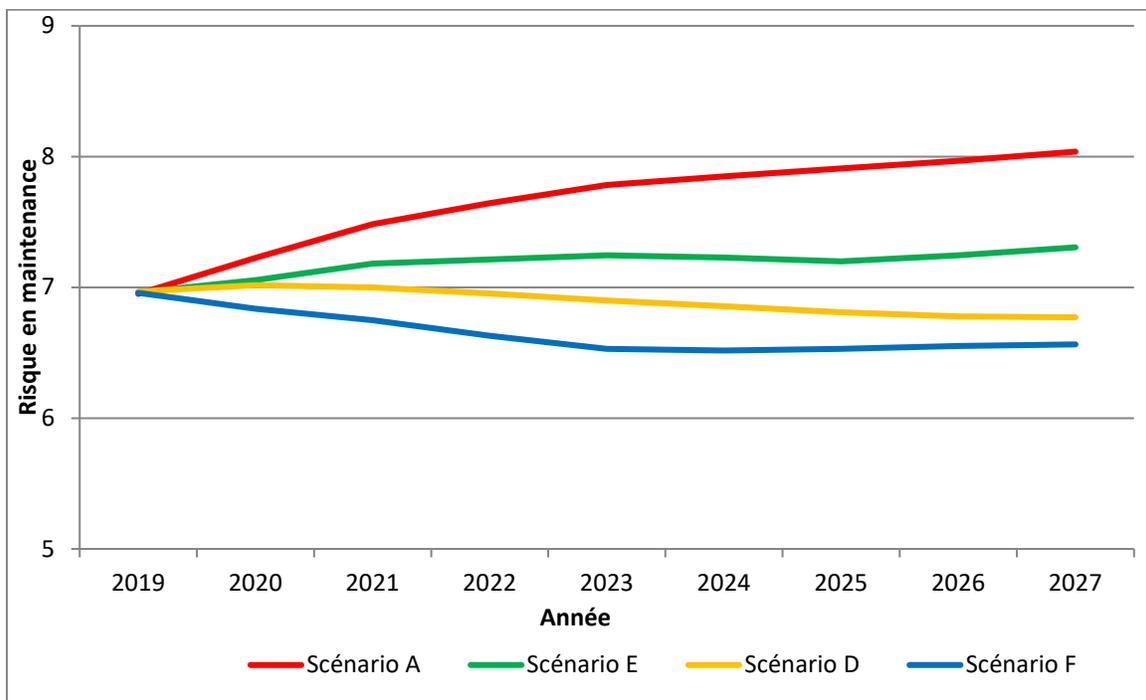
³⁰ Représente les coûts de maintenance directe associée au POC

- 1 • Scénario F : « maintenance adaptée » avec une mise à niveau budgétaire de
2 80 M\$ de coûts directs à pied d'œuvre la première année, puis abaissée
3 graduellement à 54 M\$.

4 Dans les quatre scénarios, les investissements sont conformes à la stratégie adoptée en
5 2008.

6 La Figure 5 présente le risque en maintenance prévu pour les scénarios ci-dessus selon
7 la méthodologie utilisée lors de l'analyse de 2016³¹.

Figure 5
Graphique d'évolution du risque en maintenance pour le volet poste



8 Le Transporteur rappelle que dans le dossier R-3981-2016, il visait la stabilisation du
9 risque en maintenance sur une dizaine d'années³², soit approximativement entre 6 et 7
10 vers 2026. Cette stabilisation est nécessaire, puisque comme indiqué à la section 1.3 de
11 la présente pièce, le risque de maintenance est fortement corrélée avec les IF, et qu'une
12 hausse des IF est jugé insoutenable et imprudente et ce, afin de maintenir la fiabilité,
13 l'exploitabilité et la sécurité du réseau.

³¹ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, p.59, figure 20.

³² R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1., p.59, ligne 1-4 et p.64, ligne 34-35 et p.65, ligne 1-2.

2.3.3.1 Comparaison des résultats des scénarios alternatifs

1 Le scénario E, n'est pas retenu car il entraîne une hausse permanente du risque en
2 maintenance. Ce dernier se stabiliserait à un niveau significativement plus élevé que
3 celui de 2017, ayant ainsi un impact négatif sur la fiabilité jugé insoutenable par le
4 Transporteur.

5 Le scénario F n'est pas retenu car l'accélération du contrôle du risque ne justifie pas le
6 coût supplémentaire.

7 Le scénario D est retenu car il offre un juste équilibre entre le contrôle du risque en
8 maintenance et les coûts. En effet, tout ajustement budgétaire inférieur à 54 M\$ de
9 coûts directs à pied d'œuvre ne permet plus d'atteindre cet équilibre.

2.3.3.2 Mise en garde

10 Le Transporteur souligne qu'il est nécessaire de mettre en contexte le juste équilibre
11 qu'offre le scénario D.

12 Le Transporteur rappelle, comme mentionné dans les sections 2.1 et 2.2, qu'en
13 l'absence de modèles permettant de faire le lien entre le retard en maintenance
14 préventive et le risque de défaillance potentiel avec un effet d'entraînement (effet de
15 spirale), les résultats et les impacts présentés dans cette section sont sous évalués.

16 De plus, bien que le niveau de confiance du Transporteur en ses modèles soit grand,
17 l'application réelle de la stratégie peut être perturbée par l'indisponibilité des
18 équipements, la disponibilité du réseau, le manque de personnel qualifié, les aléas
19 climatiques, etc. Ces différents éléments perturbateurs ne sont pas liés directement à
20 l'état de l'actif, ni aux coûts directs à pied d'œuvre de travaux historiques. Par
21 conséquent, ces effets ne peuvent pas être modélisés dans les simulations du MGA. Ils
22 sont plutôt considérés à la marge. Pour permettre la réalisation du scénario D, les effets
23 perturbateurs sont décrits à la section 3 de la pièce HQT-3 document 1 et les ressources
24 financières requises sont décrites dans la pièce HQT-6 document 4.

25 Les scénarios E et F n'ayant pas été implanté, il est impossible de quantifier l'impact des
26 effets perturbateurs qui auraient été générés par la variation des IF et de la maintenance
27 corrective. Une telle expérimentation est évidemment irréalisable. Par conséquent, le
28 Transporteur n'est pas en mesure de quantifier le niveau de ressources financières
29 additionnelles qui seraient nécessaires pour les autres scénarios.

30 Il est à noter que tout scénario inférieur à 54 M\$ entraînera une hausse du risque. En
31 conséquence, la comparaison du scénario D avec les autres scénarios doit être réalisée
32 avec la plus grande prudence puisque seul l'impact des effets perturbateurs associés au
33 scénario D sont connus. Il est toutefois à prévoir que l'impact financier des effets
34 perturbateurs de tout scénario de maintenance inférieur à 54 M\$ serait plus élevé que

1 celui associé à ce dernier, alors que l'impact financier des effets perturbateurs de
2 scénarios de maintenance supérieur à 54 M\$ serait moindre.

2.4 Évolution des impacts de la maintenance réalisée³³

3 *« [...] produire, lors de son prochain dossier tarifaire, un suivi de l'évolution*
4 *des impacts de la maintenance réalisée sur les taux de défaillance réels des*
5 *sectionneurs et des transformateurs de puissance, en les comparant à ceux*
6 *prévus dans le MGA, ainsi que d'expliquer les possibles écarts à compter de*
7 *2016 ».*

8 Le Transporteur rappelle que l'évolution des taux de défaillances dépend de plusieurs
9 facteurs qui ne sont pas tous affectés par la maintenance, comme par exemple, le
10 vieillissement, l'environnement, la faune et le hasard. Le taux de défaillance réel peut
11 donc évoluer à la hausse ou à la baisse en fonction de la maintenance et pour d'autres
12 raisons que l'effet de la maintenance. Cela dit, la réalisation d'une maintenance adaptée
13 est le principal moyen à la disposition du Transporteur pour influencer le taux de
14 défaillance à moindre coût.

15 Le suivi du taux annuel de défaillance par famille d'équipements n'est pas pertinent car il
16 est trop variable. En effet, pour suivre l'évolution des impacts de la maintenance
17 réalisée, il faudrait pouvoir comparer le taux de défaillance réel observé au taux de
18 défaillance hypothétique pour la même période et le même parc d'équipements en
19 l'absence de maintenance adaptée. Par conséquent, bien que le Transporteur puisse
20 suivre l'évolution des taux de défaillance réels, il est impossible de quantifier une
21 hypothétique portion manquante de ces taux attribuable à l'impact bénéfique de la
22 maintenance. Il est donc impossible de suivre l'évolution de cet impact. Cependant, le
23 Transporteur présente à la section 2.4.1 trois mesures pour assurer une vigie de l'état et
24 de la performance des actifs.

25 Une observation de tendance valable devrait chercher à diminuer l'effet de l'incertitude
26 épistémique (variations aléatoires sur les actifs individuels). Une première méthode pour
27 diminuer l'incertitude épistémique consiste à travailler à un niveau élevé d'agrégation de
28 données pour bénéficier de la loi des grands nombres. En d'autres termes, il faudra
29 s'intéresser à mesurer les bien faits de la maintenance préventive à un niveau global du
30 parc et non à l'échelle individuelle des actifs. Une deuxième méthode consiste à baser
31 les observations sur plusieurs années complètes de résultats réels afin d'en dégager
32 une tendance pertinente.

³³ D-2018-021, par. 107, p. 35.

1 C'est pourquoi le Transporteur propose les suivis suivants.

2.4.1 Suivis proposés à la Régie

2 Compte tenu du caractère modéré de l'objectif du Transporteur, quant à la stabilisation
3 de l'évolution des IF et considérant toutes les contraintes de maintenabilité et
4 d'exploitabilité, le Transporteur juge prudent à la fois de perpétuer le niveau de
5 maintenance autorisé au cours des deux dernières années et de continuer à assurer
6 une vigie de l'état et de la performance des actifs pour bien mesurer l'effet cumulé de
7 l'augmentation simultanée des risques de maintenance et de pérennité, tout
8 particulièrement au cours des dix prochaines années³⁴.

9 Pour assurer une telle vigie, le Transporteur propose trois mesures qui, ensemble,
10 permettent d'effectuer un suivi adéquat de sa stratégie de maintenance.

11 1) La proportion des ressources accaparées par la maintenance corrective sur
12 l'ensemble des ressources dédiées à la maintenance permet d'effectuer un suivi
13 de l'adéquation entre les budgets et les besoins en maintenance et de neutraliser
14 les effets perturbateurs de la maintenance corrective par l'augmentation de la
15 maintenance préventive assurant ainsi la réalisation de la stratégie de
16 maintenance. L'évolution de cette proportion sur quelques années est présentée
17 à la section 2.4.2.

18 2) Le suivi de l'évolution sur quelques années de l'indicateur d'occurrences d'IF
19 réelles permet d'évaluer à *posteriori* l'état réel du parc d'actifs et ainsi l'atteinte
20 de l'objectif général de contrôle du risque quelques années après la réalisation
21 de la maintenance. Cet indicateur est présenté à la section 2.4.3.

22 3) La comparaison entre le taux de risque en maintenance simulé et le taux de
23 risque en maintenance réel mesuré en fin d'année permet de suivre l'acuité des
24 prévisions et l'efficacité des stratégies à contrôler le risque dans un horizon à
25 plus court terme. Cette comparaison sur quelques années est présentée à la
26 section 2.4.4.

2.4.2 Analyse du comportement du préventif versus le correctif

27 Le Transporteur tient à souligner que les interventions en maintenance corrective
28 augmentent et continueront de le faire. Par le fait même, les interventions en
29 maintenance préventive diminueront proportionnellement. L'impact de ce transfert entre
30 la maintenance préventive et la maintenance corrective a été largement documenté

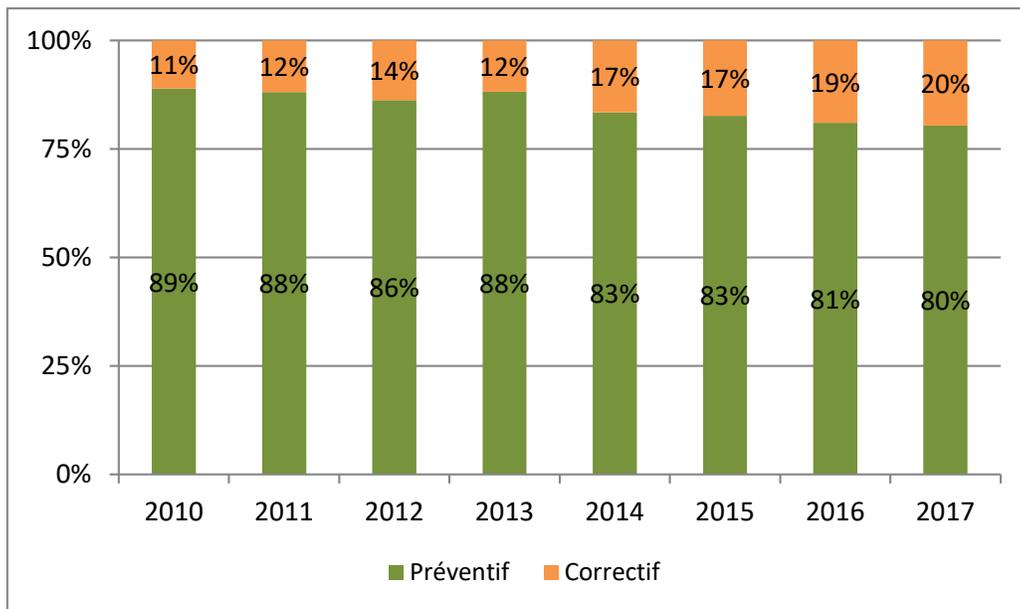
³⁴ R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, p. 6.

1 dans la preuve déposée dans le dossier R-4012-2017, HQT-3, Documents 1.1 et 1.2. Le
2 suivi historique démontre d'ailleurs la part grandissante de la maintenance corrective
3 comme le montre la Figure 6.

4 En l'absence d'une mise à niveau des budgets de maintenance, la part des travaux en
5 correctif continuera de croître d'une manière accélérée. En effet, dans le contexte de
6 ressources qui ne sont plus adaptées à l'âge du parc d'actifs, il survient un moment où
7 la dégradation est généralisée à l'ensemble des familles d'actifs. Comme une
8 réallocation des ressources n'est alors plus suffisante pour contrôler le risque, un effet
9 d'entraînement (effet de « spirale ») survient. Cette situation était déjà constatée sur les
10 données réelles historiques pour certaines familles d'équipement.

11 On constate à la figure 6 qu'en 2017, la proportion des ressources dédiées à la
12 maintenance corrective a continué d'augmenter, passant de 19 à 20% de la
13 maintenance totale, et ce malgré l'augmentation importante de la maintenance
14 préventive rendue possible grâce à la mise à niveau de 45 M\$ des coûts directs à pied
15 d'œuvre autorisée par la Régie. En effet, sans l'ajustement de budget pour la
16 maintenance adaptée en 2017, le Transporteur aurait effectué beaucoup moins de
17 maintenance préventive et la proportion de maintenance corrective sur le nouveau total
18 de maintenance résultant aurait plutôt été de 23%.

Figure 6
Tendance de la maintenance préventive et corrective



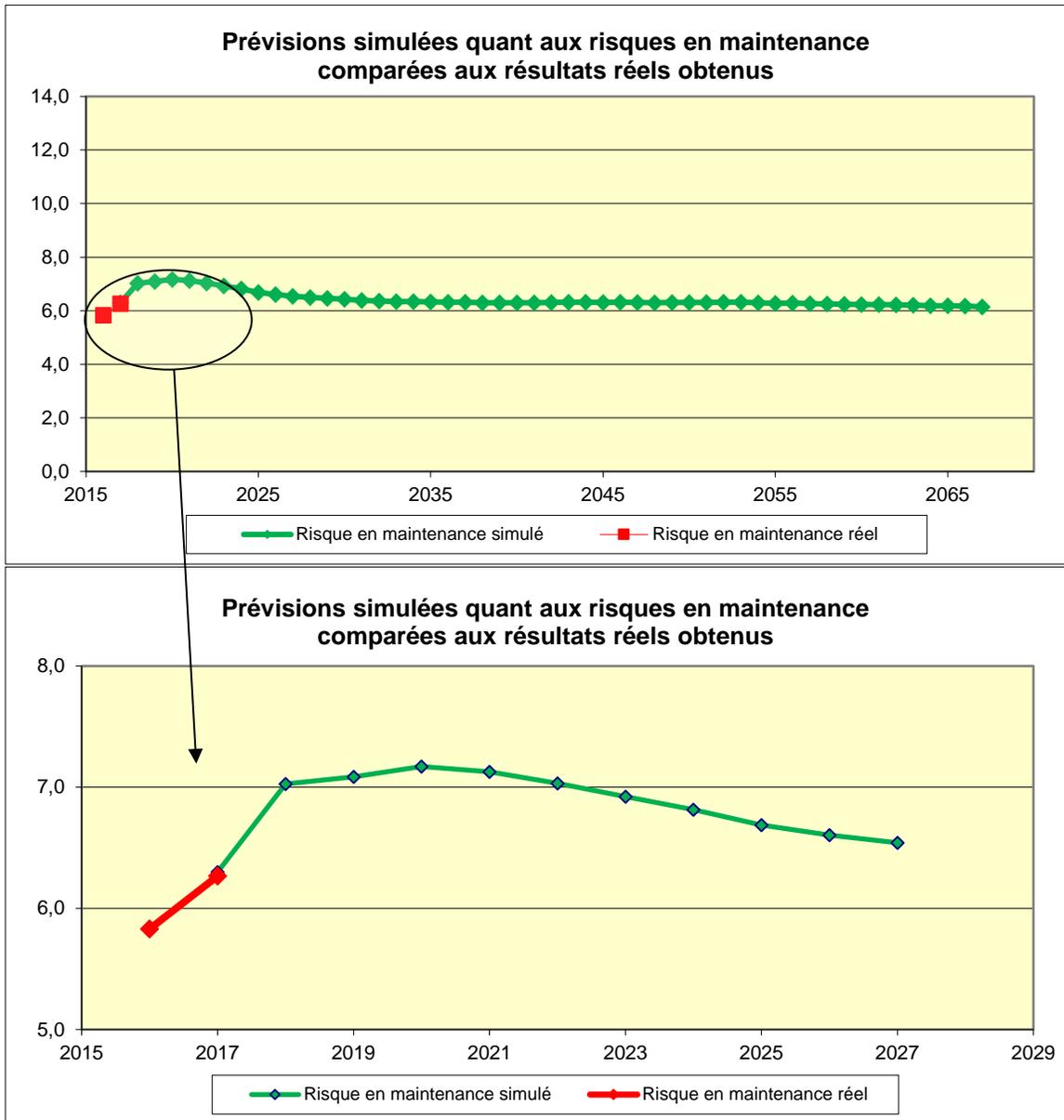
2.4.3 Suivi des indisponibilités forcées

- 1 En 2016, la stratégie de « maintenance adaptée » prévoyait une hausse du risque en
- 2 maintenance. Et en effet, le nombre d'indisponibilités forcées a continué de progresser
- 3 en 2017, comme expliqué dans la pièce HQT-3, Document 1, section 4.

2.4.4 Suivi du taux de risque en maintenance réel versus le taux simulé

- 4 La figure suivante compare le taux de risque en maintenance simulé lors des demandes
- 5 tarifaires avec le taux de risque réel de l'appareillage en fin d'année. Cette figure est
- 6 similaire à la figure servant à faire le suivi du taux de risque en pérennité, laquelle est
- 7 déposée à chaque année dans la demande d'autorisation du budget des
- 8 investissements du Transporteur.

Figure 7
Évolution du taux de risque en maintenance- Appareillage électrique



- 1 Les figures montrent que le risque en maintenance réel mesuré en fin d'année suit
- 2 l'évolution prédite par les simulations.

2.5 Calibrage du MGA

1 « [...] faire état, dans son prochain dossier tarifaire, des calibrations
2 découlant de la mise à jour des informations pertinentes au MGA. »³⁵

3 Le processus de mise à jour du MGA est un processus annuel qui comporte plusieurs
4 étapes.

5 Dans un premier temps, les données réelles de l'année précédente sont captées dans
6 les outils du Transporteur, validées et ajoutées à celles des années précédentes. Une
7 validation des modèles utilisés pour simuler les ressources requises (coûts et heures)
8 par type d'intervention est alors effectuée pour s'assurer qu'ils sont représentatifs. Une
9 validation de l'évaluation de l'état des actifs est également effectuée par les ingénieurs
10 du Transporteur.

11 Le Transporteur tient à préciser qu'il tient compte également des dernières percées
12 dans la communauté scientifique en terme de modélisation et de statistiques et qu'il
13 intègre, au fur et à mesure, les conclusions de ses découvertes. À titre d'exemple, le
14 Transporteur rappelle qu'il a incorporé les courbes de dégradation dans le MGA afin de
15 simuler l'effet de la maintenance en fonction de l'âge³⁶.

16 Si requis, une mise à jour des arbres décisionnels est effectuée selon les ajustements
17 aux normes, aux façons de faire et aux stratégies techniques convenues avec les
18 ingénieurs et spécialistes du Transporteur.

19 Plusieurs scénarios sont alors simulés en fonction des différents volets analysés. Les
20 résultats sont alors présentés aux ingénieurs et spécialistes du Transporteur
21 représentant les différentes spécialités d'équipements. Lors de ces rencontres
22 d'arrimage, les résultats de simulation sont comparés à ceux des simulations des
23 années précédentes et aux résultats réels pour comprendre les différents ajustements
24 requis. Pour l'exercice de 2019, aucun ajustement n'entraînait des ajustements
25 budgétaires.

³⁵ D-2018-021, par. 139, p. 41.

³⁶ R-4012-2017, HQT-3, Document 1.1, section 2.1.1

2.6 Analyses statistiques

1 « [...] déposer, lors de son prochain dossier tarifaire, un résumé des analyses
2 statistiques sur les heures de main-d'œuvre requise, les coûts de matériel et
3 des services externes. »³⁷

4 Les heures de main-d'œuvre requise en maintenance conditionnelle et corrective ont été
5 mises à jour à partir des données extraites des ordres de travail du Transporteur (entre
6 2014 et 2017). Le nombre moyen d'heures par intervention est calculé à partir d'une loi
7 de probabilité (triangulaire) ajustée à partir des données réelles, et ce pour chaque type
8 de maintenance (conditionnelle et corrective) et pour chaque regroupement homogène
9 d'appareils.

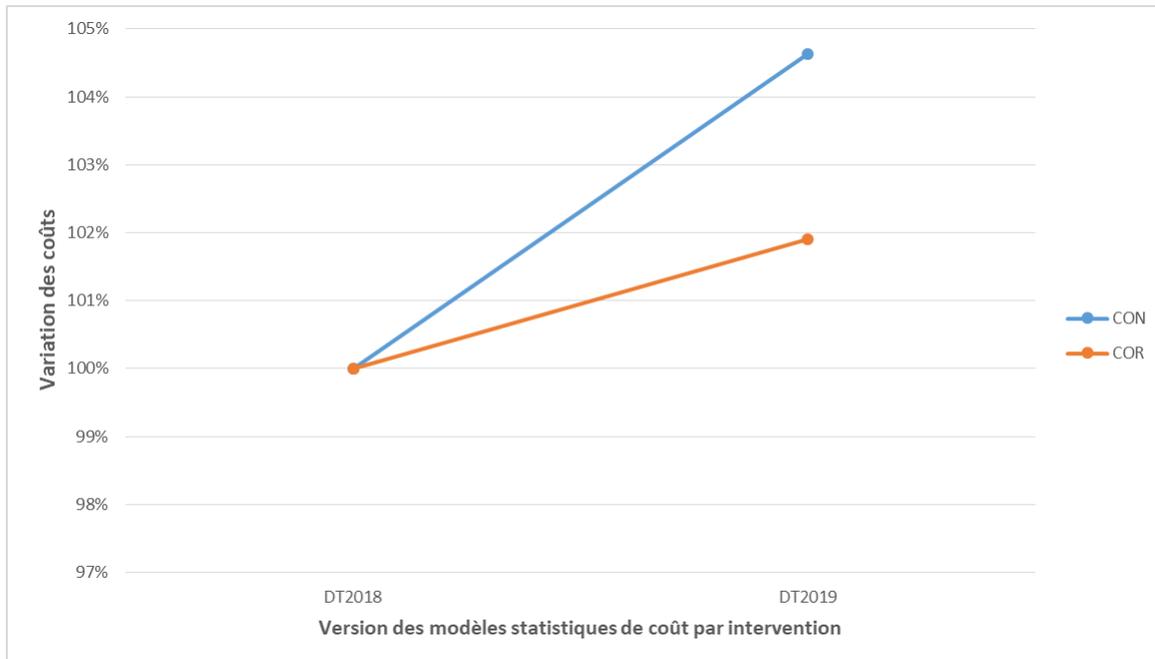
10 La probabilité que l'intervention de maintenance requière du matériel et/ou des services
11 externes est estimée à partir de la proportion des ordres de travail ayant des coûts de
12 matériel et/ou des services externes non nuls.

13 Le choix de la loi triangulaire est justifié par sa simplicité et par son efficacité lorsqu'un
14 échantillon de données limité est disponible. L'estimation des paramètres de cette loi (sa
15 limite minimale, son mode et sa limite maximale) est faite directement à partir de
16 l'échantillon de données. Cette estimation permet d'ajuster la moyenne de la loi
17 triangulaire à la moyenne réelle de l'échantillon de données et permet de prendre en
18 compte la variabilité de cette moyenne à travers ses deux limites minimale et maximale.

19 La figure suivante montre l'évolution des coûts directs à pied d'œuvre (main-d'œuvre,
20 matériel et services) moyens par intervention dans les modèles de coûts pour
21 l'appareillage électrique au MGA à la demande tarifaire 2018 et à la demande tarifaire
22 2019. À volume d'intervention égal et avec la même répartition entre les familles
23 d'équipements, le coût d'intervention moyen en conditionnel augmente de 4,6% et le
24 coût d'intervention moyen en correctif croît de 1,9%.

³⁷ D-2018-021, par. 164, p. 47.

Figure 8
Évolution du coût moyen par intervention pour les modèles de l'appareillage électrique



1 Comme mentionné dans la demande tarifaire de 2017³⁸, les coûts estimés par le MGA
 2 sont des coûts directs à pied d'œuvre liés aux interventions donc, ils ne tiennent pas
 3 compte notamment des coûts indirects liés aux défaillances des équipements tels la
 4 perte de productivité et le dérangement de la planification (effet perturbateur HQT-3
 5 Document 1, section 3), le potentiel de la 2e contingence avec un impact client (panne
 6 ou coupure de transaction). Donc, les valeurs monétaires des scénarios sont
 7 généralement sous-estimées et, plus le niveau de défaillances complètes est élevé dans
 8 un scénario, plus cette sous-estimation est importante.

9 Le Transporteur tient à souligner, que les coûts de maintenance directs associés à la
 10 maintenance sont présentés dans la pièce HQT-6, document 4.

3 Conclusion

11 La majorité des actifs du Transporteur a aujourd'hui dépassé la moitié de leur durée de
 12 vie. Conséquemment, la stratégie adoptée en 2013 qui combine la maintenance et la
 13 pérennité permet une bonne maîtrise de la dégradation des actifs et de leurs
 14 vieillissements. Cependant, le Transporteur estime que selon le scénario de sa stratégie
 15 de maintenance adaptée déterminé par le MGA, une mise à niveau récurrente des
 16 budgets dédiés à la maintenance de 54 M\$ de coûts directs à pied d'œuvre est requise

³⁸ R3981-2016, HQT3, doc1.1, p.50, lignes 14-22.

1 et ce, sans considération des besoins financiers liés aux effets perturbateurs. Cette mise
2 à niveau est un juste équilibre entre le contrôle de l'évolution des risques en pérennité et
3 en maintenance - tout en assurant la fiabilité, la disponibilité et la sécurité du réseau – et
4 un juste coût. Le Transporteur poursuit ses efforts d'amélioration dans sa stratégie de
5 pérennité et de maintenance afin de continuer à maintenir un taux de risque acceptable
6 et à le contrôler afin de poursuivre sa mission de base.

Annexe 1

Modèle de gestion des actifs

Le 25 juillet 2018

Mme Marie-Christine Ayoub

Direction Planification et gestion des actifs

Hydro-Québec TransÉnergie,

2, Complexe Desjardins, 19e étage,

Montréal (Québec)

Objet : Régie de l'énergie : Impact de la maintenance préventive concernant la performance de certains actifs d'HQT

Madame,

Par la présente, j'aimerais préciser mon rôle et ma participation à l'égard des analyses de l'impact de la maintenance préventive concernant la performance de certains actifs d'HQT.

1. Mandat

Le mandat confié à l'IREQ par la Direction Planification et gestion des actifs d'HQT est le suivant :

- Supporter HQT lors de la quantification du changement de la performance des appareils d'HQT en fonction de la modification de la stratégie de la maintenance préventive. La performance est exprimée par leur taux de défaillance. Lors de ce travail, nous avons utilisé l'approche et des algorithmes génériques élaborés par EPRI (Electrical Research Power Institute) et intégrés dans leur produit "Preventive Maintenance Basis Database (PMBD)" afin de quantifier et valider l'évolution de la performance des appareils d'HQT.
- Analyser et valider les hypothèses de travail pour corréliser les résultats de calcul avec la performance des appareils analysés d'HQT.

2. Travaux réalisés

Afin de réaliser le mandat précité, les travaux et analyses suivants ont été effectués :

- Utiliser l'approche et les algorithmes génériques d'EPRI avec leur programme de maintenance optimale recommandé afin de varier la périodicité des tâches de maintenance et quantifier l'évolution du taux de défaillance des appareils analysés : transformateurs de puissance, sectionneurs et disjoncteurs. Pour s'assurer que les actifs d'HQT se comportent de façon comparable à ceux analysés par l'EPRI, l'IREQ et HQT ont calculé une approximation du taux de défaillance à maintenance optimale et du taux de défaillance sans maintenance pour les appareils analysés. Les résultats ont été par la suite comparés aux valeurs équivalentes obtenues selon les algorithmes d'EPRI.
- Analyser et valider les corrélations obtenues de la performance des appareils analysés d'HQT.

3. Conclusions

L'EPRI est un institut de recherche du calibre international dans le domaine de production, transport et distribution d'électricité. La PMDB dispose d'algorithmes de calcul intégrés et validés qui permettent de faire le lien entre le taux de défaillance et le niveau de maintenance préventive réalisée. Ces algorithmes et le concept sont le résultat des recherches avancées sur nombreuses années, validés par le retour d'expérience de l'industrie ainsi que des panels d'experts d'utilités électriques (nucléaire, hydraulique et fossile), manufacturiers des équipements et des chercheurs universitaires.

Parmi les centaines de familles d'appareils répertoriés par l'EPRI, seuls les disjoncteurs, les sectionneurs et les transformateurs de puissance se retrouvent dans le parc d'actifs d'HQT. Les équipements de référence dans la PMDB sont ceux qui sont généralement installés, utilisés et maintenus dans les utilités électriques Nord-Américains et par conséquent comparables avec ceux d'HQT, mais pas identiques. Pour avoir les résultats précis, il est nécessaire d'adapter la méthodologie utilisée à la réalité d'HQT et de valider les résultats obtenus avec les observations, données et analyses spécifiques au contexte de l'exploitation et de maintenance à HQT.

En conclusion, il m'est possible d'affirmer qu'HQT a employé une méthodologie acceptable avec les données, outils et méthodes à leur disposition au moment de faire le travail.

Il m'est possible de conclure que la majorité des mécanismes de dégradations subis par nos équipements, soit les sectionneurs et les transformateurs de puissance, représentent les intrants très similaires que ceux utilisés par l'EPRI.

L'universalité des phénomènes des dégradations physique conjuguées à la similitude des approches sont suffisantes pour démontrer que la compréhension actuelle du comportement des sectionneurs et des transformateurs de puissance correspond à ceux de l'EPRI. Par conséquent, je peux confirmer que l'approche utilisée avec le niveau de confiance actuel de la communauté scientifique dans ce domaine est adéquate.

4. Travaux en cours

Afin d'élaborer une méthodologie précise et adaptée à l'environnement opérationnel et de maintenance d'HQT, des travaux de recherches et analyses sont actuellement en cours à l'IREQ pour développer des algorithmes de calcul de la performance des appareils d'HQT. La méthodologie sera validée avec les données et observations du terrain. Ces travaux de recherche impliquent aussi la collaboration avec des universités.

Il est envisagé que la première phase des travaux précités soit complétée vers la fin de 2018 ou au début de 2019.

Veuillez agréer, Madame, mes sentiments les plus respectueux.



Dragan Komljenovic, ing., Ph.D.

Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ)

1800, boul. Lionel-Boulet; Étage 01

Varenes, QC; J3X 1S1, Canada

Tél : ++1-450-652-8741

Courriel: komljenovic.dragan@ireq.ca

P.J. CV de Dragan Komljenovic (juillet, 2018)