

Modèle de gestion des actifs

Sommaire exécutif

1 Le réseau de transport d'électricité a connu un développement particulièrement rapide de
2 1970 à 1990. Les actifs du Transporteur arrivent désormais massivement en fin de vie.
3 Depuis 2008, le Transporteur accroît ses investissements de façon à maintenir la fiabilité de
4 son réseau au moindre coût, causant une hausse contrôlée de l'âge moyen des actifs. Cette
5 augmentation de l'âge résulte en une dégradation des actifs qui impose de surveiller leur
6 état et de poser les actions requises afin d'éviter une baisse de performance du réseau.

7 Dès 2013, le nombre d'indisponibilités forcées (« IF »), faisant suite à une défaillance d'actif
8 et nécessitant une réparation ou un remplacement, atteint un niveau qui rend le réseau
9 vulnérable et perturbe grandement les activités. Or, le suivi des IF sur le réseau du
10 Transporteur montre une hausse de 34 % entre 2010 et 2015. Le Transporteur demeure en
11 contrôle des défaillances et continue avec succès, au prix de contraintes et d'efforts
12 croissants, d'éviter qu'elles n'affectent l'indice de continuité – Transport (« IC - Transport »).
13 Néanmoins, il estime essentiel d'accroître les ressources allouées à la maintenance pour
14 mieux maîtriser la dégradation des actifs.

15 Dans la décision D-2016-029, la Régie de l'énergie (la « Régie ») réitère son appui à la
16 stratégie de gestion du Transporteur, mais indique manquer de données concrètes pour
17 donner son aval à l'intensification du rythme des activités. De plus, elle mentionne manquer
18 d'information pour bien juger de la rentabilité des mesures récurrentes proposées par le
19 Transporteur. Le présent document vise à traiter de ces deux points sur lesquels se fonde
20 notamment la décision de la Régie quant au budget supplémentaire de maintenance
21 demandé dans le cadre du dossier R-3934- 2015, et à sa récurrence.

22 D'abord, le Transporteur rappelle que l'usage normal et l'âge affectent l'état d'un actif et
23 augmentent le taux de défaillance. Un juste équilibre entre des interventions de
24 maintenance et d'investissements permet d'intervenir au moindre coût et au moment
25 opportun sur la durée de vie de l'actif pour prévenir la défaillance d'un actif ainsi que les
26 effets néfastes qu'elle entraîne sur la sécurité, la fiabilité et la disponibilité des actifs.

27 Parmi tous les effets des défaillances, les IF sont un bon indicateur de l'état des actifs.
28 Cependant, la vulnérabilité grandissante qu'entraîne la hausse des IF sur le réseau de
29 Transporteur fait en sorte que plus d'efforts sont requis pour contrôler les risques liés aux
30 défaillances, au prix d'une inefficience à la fois aux plans des opérations et des coûts tout
31 en générant un passif de maintenance préventive. De plus, malgré ces efforts, les
32 défaillances entraînent une perte notable d'exploitabilité et de maintenabilité comme
33 l'illustrent d'ailleurs les exemples présentés à la section 3.3.

34 Pour répondre aux demandes de la Régie, relativement aux bénéfices économiques et aux
35 avantages comparatifs des divers rythmes possibles de réalisation de ses activités, le

1 Transporteur rappelle que son modèle de gestion des actifs (« MGA ») lui permet de
2 quantifier la probabilité et les impacts de ces défaillances éventuelles par une mesure de
3 risque qui évolue selon la dégradation de l'état (risque de maintenance) et le vieillissement
4 (risque en pérennité) de l'actif. Le MGA permet également de mesurer l'effet des
5 interventions de maintenance et de remplacement sur ces risques et de quantifier les
6 ressources requises. Finalement, ce modèle intégré de gestion des actifs permet d'évaluer
7 au fil du temps l'interaction entre les actions de maintenance et les investissements en
8 maintien des actifs pour trouver un juste équilibre entre les deux approches dans l'esprit de
9 la meilleure rentabilité économique des interventions sur toute la durée de vie de l'actif.

10 Pour déterminer les bénéfices économiques et avantages comparatifs de divers rythmes de
11 réalisation, dits « scénarios », le Transporteur utilisera les résultats simulés de l'évolution
12 des risques et des impacts sur les revenus requis, tirés du MGA, à l'instar de l'approche
13 recommandée par le Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations
14 (« CIRANO ») et utilisée pour justifier la stratégie de pérennité au dossier R-3670-2008.

15 Dans un premier temps, les simulations permettent de confirmer que la stratégie
16 d'investissement retenue en 2008 permet de garder un équilibre entre l'accroissement
17 contrôlé de l'âge moyen des actifs et le contrôle du risque en pérennité. Toutefois,
18 l'accroissement de l'âge moyen résultant entraîne comme corolaire une augmentation de la
19 dégradation moyenne des composants qui devrait se traduire par une hausse de leur
20 défaillance, si le niveau de maintenance n'est pas adapté à l'accroissement de l'âge.
21 L'augmentation réelle des IF démontre que c'est le cas.

22 Dans un deuxième temps, les simulations confirment que le rythme actuel d'activités de
23 maintenance (selon les ressources autorisées pour 2016) entraîne une hausse importante
24 du risque en maintenance qui s'additionne à la hausse du risque en pérennité. Cette hausse
25 est jugée imprudente et insoutenable par le Transporteur et il en conclut que le niveau de
26 ressources actuellement dévolues à la maintenance n'est plus adapté à l'âge du parc.

27 Par mesure de modération et de pragmatisme, dans le contexte de fort volume
28 d'investissements présentement en cours chez le Transporteur, ce dernier ne vise à ce
29 stade qu'à limiter l'évolution des IF. Or, parmi les divers rythmes de réalisation étudiés,
30 seuls les scénarios permettant une hausse de la maintenance permettent de contrôler
31 rapidement le risque de maintenance et, du coup, l'évolution des IF. Le Transporteur retient
32 donc, parmi ces derniers, le scénario présentant le moins d'impacts sur les revenus requis,
33 soit le scénario dit « maintenance adaptée ».

34 Le Transporteur compte suivre l'effet réel de la stratégie de gestion des actifs retenue sur
35 l'état et la performance de ses actifs et justifiera, si requis, tout ajustement nécessaire pour
36 continuer à rencontrer sa mission de base en assurant la sécurité du public et de son
37 personnel, la fiabilité et la disponibilité du réseau et ce, au moindre coût.

Table des matières

Introduction9

1 Mise en contexte10

1.1 Un réseau vieillissant10

1.2 La stratégie de pérennité.....10

1.3 Évolution vers un modèle de gestion des actifs combinant maintenance et pérennité11

2 Principes de gestion des actifs15

2.1 L'évolution théorique de l'état d'un actif15

 2.1.1 Le concept de la dégradation d'un actif16

 2.1.2 Le concept du vieillissement d'un actif17

2.2 Les modes de maintenance et leur effet sur la fiabilité17

 2.2.1 Maintenance corrective (et remplacements en urgence)18

 2.2.2 Maintenance préventive et gestion de la pérennité18

2.3 L'effet des défaillances et de la maintenance sur la disponibilité21

 2.3.1 Défaillance partielle : restriction d'exploitation21

 2.3.2 Défaillance complète : indisponibilité forcée21

 2.3.3 Redondance22

 2.3.4 Contingence22

 2.3.5 Indisponibilités (retraits) planifiées.....22

 2.3.6 Lien entre l'évolution de l'état, la maintenance et la disponibilité23

 2.3.7 Équilibre entre la fiabilité et la disponibilité25

2.4 Les spirales du déclin de fiabilité25

3 Indicateur de l'état des actifs.....27

3.1 Les indisponibilités forcées27

3.2 Évolution des indisponibilités forcées.....28

3.3 Impact des indisponibilités forcées29

 3.3.1 Hausse des situations de contingence : L'exemple de la zone « A »29

 3.3.2 Perte d'exploitabilité : L'exemple du sous-réseau XYZ.....30

 3.3.3 Impact des indisponibilités forcées sur la maintenabilité – La perte d'efficacité : Exemple du sous-réseau « L »31

 3.3.4 Impact des indisponibilités forcées sur la maintenabilité – La complexification des travaux32

3.4 Contrôle requis des indisponibilités forcées.....34

3.5 Cas de la mise en œuvre avec la famille des transformateurs de puissance.....35

4 Le modèle de gestion des actifs du Transporteur39

4.1 Le principe de gestion du risque40

 4.1.1 Risque en maintenance41

 4.1.2 Risque en pérennité41

4.2 Équilibre entre les stratégies d'intervention.....42

 4.2.1 Stratégie pour les systèmes non-réparables42

 4.2.2 Stratégie pour les systèmes réparables42

 4.2.3 La maintenance ciblée, une stratégie adaptée à l'état actuel du parc d'actifs43

 4.2.4 Analyse de rentabilité des activités.....44

4.3 Regroupement d'interventions par installation.....45

4.4 Description du Modèle de gestion des actifs46

 4.4.1 But et prérequis du modèle46

 4.4.2 Contenu et cohérence du modèle.....47

4.4.3	Description sommaire des modèles et outils composant le MGA	48
4.4.4	Intrants aux simulations	48
4.4.5	Arbres décisionnels	51
4.4.6	Simulation de l'effet des stratégies d'intervention	52
4.4.7	Modèle financier et modèle de main-d'œuvre.....	53
4.4.8	Ajustements pour intrants non-simulés.....	53
5	Analyse « coûts / bénéfices » des scénarios étudiés.....	54
5.1	Description des scénarios étudiés.....	54
5.2	Méthodologie et critères d'analyse.....	56
5.2.1	Méthodologie d'analyse « coûts / bénéfices »	56
5.2.2	Critères d'analyses	57
5.3	Analyse comparative des divers scénarios étudiés.....	58
5.3.1	Risque de pérennité (Vieillessement)	58
5.3.2	Risque de maintenance (dégradation).....	58
5.3.3	Effet sur les revenus requis	60
5.3.4	Analyse des avantages comparatifs selon différents rythmes de réalisation	61
5.4	Approche retenue.....	64
5.5	Détermination des besoins additionnels requis.....	65
6	Suivi	66
7	Conclusion	67
Annexe 1 - Glossaire.....		71
Annexe 2 - Parc d'actifs stratégiques du Transporteur		75
1	Le réseau du Transporteur.....	75
1.1	Postes.....	75
1.2	Lignes	75
2	Actifs de la spécialité appareillage électrique	76
2.1	Équipement disjoncteur	76
2.2	Équipements sectionneurs	76
2.3	Équipements de transformation et inductances.....	77
2.4	Équipements de compensation	78
2.5	Équipements Parafoudres	79
2.6	Jeux de barres.....	80
3	Actifs de la spécialité appareillage mécanique	81
4	Actifs de la spécialité ouvrages civils	81
5	Actifs de la spécialité systèmes d'automatismes	82
6	Actifs de la spécialité lignes aériennes.....	83
7	Actifs de la spécialité lignes souterraines	84

Liste des tableaux

Tableau 1 Modèles et outils qui composent le MGA	48
Tableau 2 Tableau résumé des scénarios	55
Tableau 3 Sommaire de l'analyse comparative des scénarios	62

Liste des figures

Figure 1 Impact des scénarios d'investissement sur l'âge moyen des équipements	11
Figure 2 Hausse des heures de maintenance requises en fonction de la durée de vie	12
Figure 3 Proportion du parc d'actifs ayant atteint 50 % de sa vie utile en 2008 et en 2016	12
Figure 4 Évolution à long terme prévue du risque en pérennité	13
Figure 5 Évolution de l'état vers la défaillance par l'effet combiné de la dégradation et du vieillissement	16
Figure 6 Les modes de maintenance	18
Figure 7 Lien entre l'évolution de l'état, la maintenance et la disponibilité	24
Figure 8 Indisponibilités forcées des équipements - Évolution réelle 2010 à 2015	29
Figure 9 Tendances de la maintenance préventive et corrective	32
Figure 10 Illustration de l'impact d'une ZAL dans un poste	33
Figure 11 Projection de la hausse des indisponibilités forcées avec le niveau de ressource actuel	34
Figure 12 Évolution des indisponibilités forcées des transformateurs de puissance de 2010 à 2012	36
Figure 13 Évolution des heures de maintenance sur les transformateurs de puissance 2010 - 2015	37
Figure 14 Évolution des indisponibilités forcées des transformateurs de puissance de 2012 à 2015	37
Figure 15 Le MGA du Transporteur et différentes initiatives qui s'y rattachent	40
Figure 16 Courbe du taux de défaillance (en baignoire) en fonction des années	49
Figure 17 Modèles de ressources	50
Figure 18 Types d'arbres décisionnels	51
Figure 19 Graphique d'évolution du taux de risque en pérennité	58
Figure 20 Graphique d'évolution du risque en maintenance	59
Figure 21 Évolution de l'impact à la marge sur les revenus requis	60

Liste des photos

Photo 1 Une des trois phases d'un disjoncteur dans un poste à 735 kV	76
Photo 2 Trois phases d'un sectionneur dans un poste à 230 kV	77
Photo 3 Transformateur de puissance triphasé	78
Photo 4 Compensateur statique (CLC)	79
Photo 5 Trois parafoudres installés sur un transformateur de puissance	80
Photo 6 Jeu de barres rigides	81
Photo 7 Chaînes d'isolateurs d'une des trois phases d'un circuit à 735 kV	84

Introduction

1 Pour répondre aux besoins d'informations exprimés par la Régie dans la décision
2 D-2016-029 pour donner son aval à l'intensification du rythme d'activités souhaité par le
3 Transporteur, ce dernier juge essentiel de lui présenter les données qui lui permettront de
4 saisir la réalité avec laquelle il doit composer, à titre de gestionnaire et exploitant du réseau
5 de transport, et qui témoignent de l'urgence d'agir.

6 En premier lieu, le Transporteur présente son contexte et, dans la section 2, les notions et
7 concepts de base relatifs à ses activités de gestion des actifs et au maintien de son réseau.

8 Ensuite, les réponses aux demandes de la Régie en regard du MGA et de la démonstration
9 de sa rentabilité sont présentées dans les sections suivantes :

- 10 1) la section 3.5 « permettra d'apprécier les résultats actuels de la stratégie adoptée
11 quant au maintien des actifs (...) », comme demandé au paragraphe 40 de la
12 décision ;
- 13 2) la section 4.2.4 « fera état de la rentabilité économique des actions entreprises et
14 envisagées par le Transporteur (...) », comme demandé au paragraphe 40 de la
15 décision ;
- 16 3) les sections 5.3 et 5.4 « feront état (...) d'une projection des gains visés à long
17 terme », comme demandé au paragraphe 40 de la décision ;
- 18 4) la section 3 répondra à l'avis de la Régie qui dit que « le Transporteur continue à
19 disposer de la flexibilité de gestion requise pour atteindre la cible fixée par la Régie
20 pour la prochaine année », comme mentionné au paragraphe 45 de la décision ;
- 21 5) La section 5 présentera « une preuve spécifique complète portant sur les
22 avantages comparatifs de sa stratégie axée sur la maintenance préventive et la
23 pérennité des actifs, selon différents rythmes de réalisation », pour répondre à
24 l'ordonnance de la Régie au paragraphe 113 de la décision.

1 Mise en contexte

1 Ce chapitre 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 présentant
3 l'évolution vers le MGA en 2012.

1.1 Un réseau vieillissant

4 Suite la nationalisation de l'électricité au Québec survenu en 1963, Hydro-Québec émerge
5 de la fusion des entreprises d'électricité existantes. Plusieurs réseaux électriques âgés,
6 certains datant du début du siècle, et de conceptions très diverses sont alors pris en charge
7 par l'entreprise. Entre 1970 et 1980, la puissance installée disponible au Québec est
8 doublée. Comme ces nouvelles installations de production sont toutes situées à une grande
9 distance des principaux centres de consommation, des postes et des lignes à très haute
10 tension doivent être construits pour acheminer l'électricité jusqu'aux clients. Ainsi, un
11 nombre important d'actifs du Transporteur ont été mis en service durant cette période, ce
12 qui explique pourquoi la majorité des actifs du réseau de transport a aujourd'hui dépassé la
13 moitié de sa durée de vie.

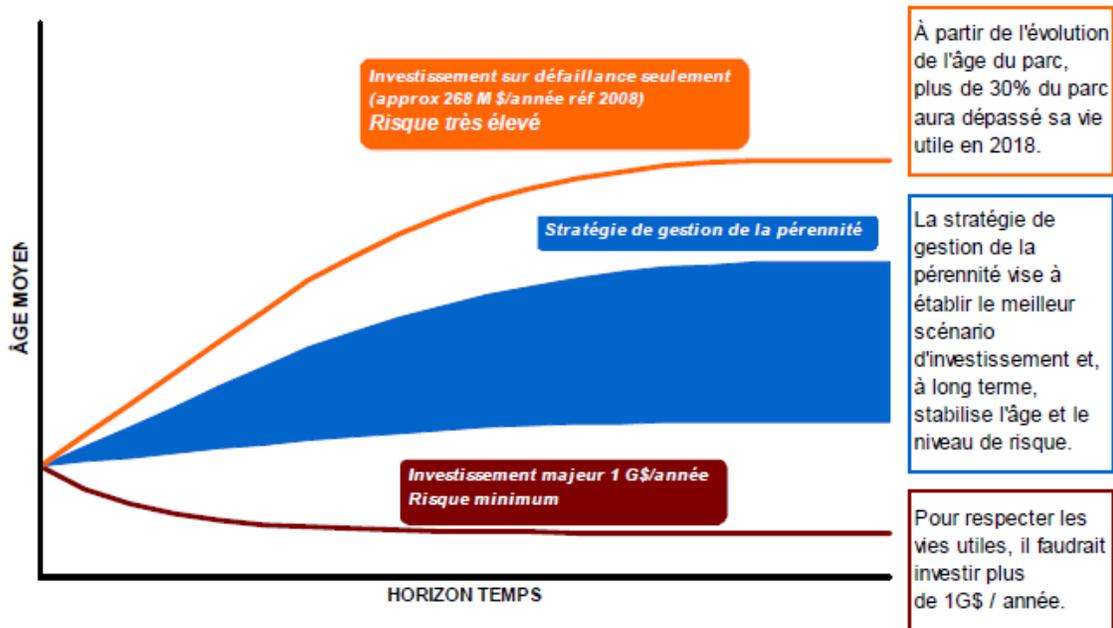
14 Depuis les pannes majeures de 1988 et 1989, le développement du réseau est surtout axé
15 sur la fiabilité et la stabilité. Au début des années 1990, le Transporteur a fait l'addition
16 massive de compensation série et de grands automatismes de réseau sur le réseau
17 principal. Au cours des vingt dernières années, il s'est assuré de la fiabilité locale en
18 étudiant et en améliorant la fiabilité individuelle des équipements. Finalement, depuis le
19 début des années 2000, ce sont les technologies de surveillance, puis de télésurveillance
20 des appareils qui ont grandement évolué sur le réseau du Transporteur.

1.2 La stratégie de pérennité

21 Comme mentionné précédemment, la majorité des actifs du réseau de transport d'électricité
22 ont atteint la deuxième moitié de leur vie utile.

23 Pour stabiliser l'âge moyen du parc, différents scénarios ont été envisagés depuis 2008
24 pour estimer le niveau requis d'investissement. À titre d'exemple, la figure 1 illustre l'impact
25 sur l'âge moyen des équipements de trois scénarios d'investissements évalués en 2008 : le
26 scénario d'investissements antérieur à la stratégie (orangé), le scénario optimal visé par la
27 stratégie de gestion de la pérennité (bleu) et le scénario requis pour stabiliser l'âge moyen
28 des équipements au niveau de leur vie utile (rouge).

Figure 1
Impact des scénarios d'investissement sur l'âge moyen des équipements



- 1 Avec la stratégie adoptée en 2008, le réseau vieillit de manière contrôlée. La vague
- 2 d'équipements qui dépasseront leur deuxième phase de vie utile au cours des prochaines
- 3 années demeure préoccupante et requiert une bonne maîtrise de leur dégradation et de leur
- 4 vieillissement. Le Transporteur l'anticipait d'ailleurs dès 2008¹.

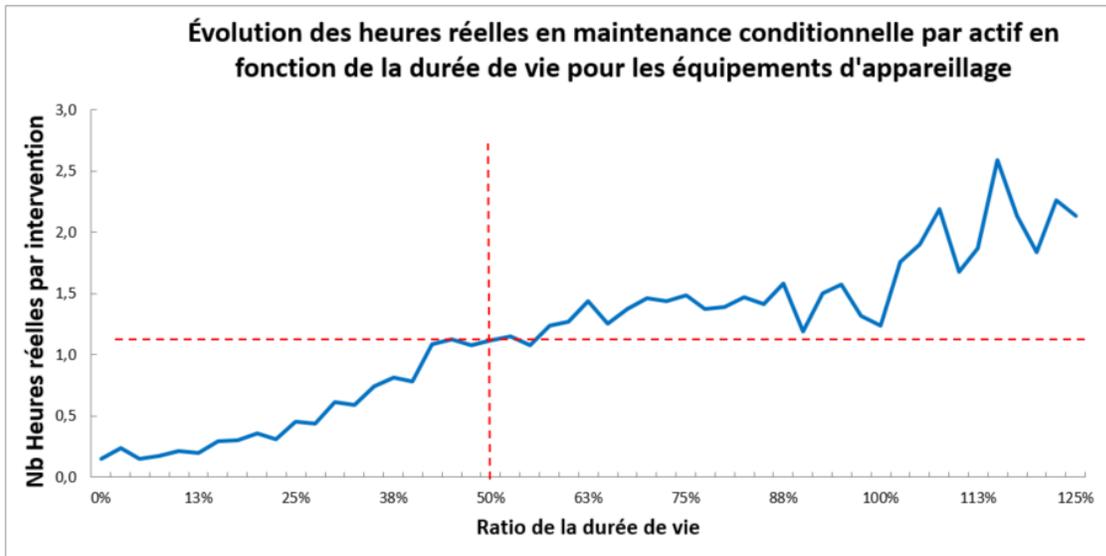
1.3 Évolution vers un modèle de gestion des actifs combinant maintenance et pérennité

- 5 La hausse contrôlée de l'âge moyen du parc entraîne des effets importants sur la
- 6 maintenance requise. La figure 2², illustre bien ce phénomène.

¹ Dossier R-3670-2008 (Budget d'investissement pour l'année 2009), HQT-2 Document 1, page 91.

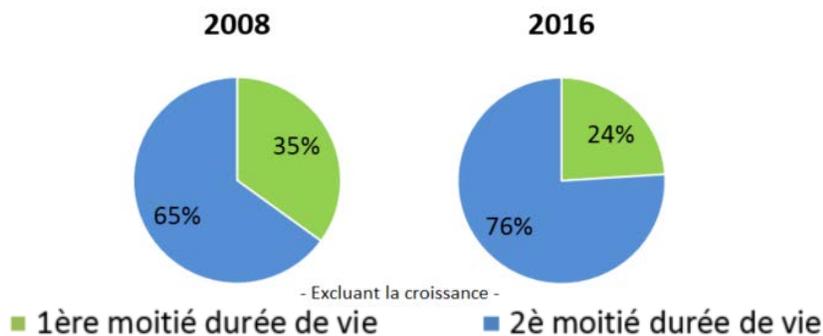
² Demande R-3934-2015, HQT 3, Document 1, page 6.

Figure 2
Hausse des heures de maintenance requises en fonction de la durée de vie



1 On y note que l'effort de maintenance augmente de manière très significative passé 50 %
 2 de la durée de vie et qu'il s'agit donc d'un bon indice de la quantité de maintenance requise
 3 pour maintenir la fiabilité. Le Transporteur rappelle que le nombre d'actifs ayant atteint un
 4 âge supérieur ou égal à plus de 50 % de leur vie utile s'est accru au cours des dix dernières
 5 années et continuera de croître. Les investissements en pérennité autorisés par la Régie
 6 ont évidemment permis de contrôler le rythme de ce vieillissement. La figure 3 illustre
 7 l'évolution de l'âge moyen des actifs de 2008 à 2016 en excluant les actifs ajoutés par les
 8 projets de croissance du réseau.

Figure 3
Proportion du parc d'actifs ayant atteint 50 % de sa vie utile en 2008 et en 2016



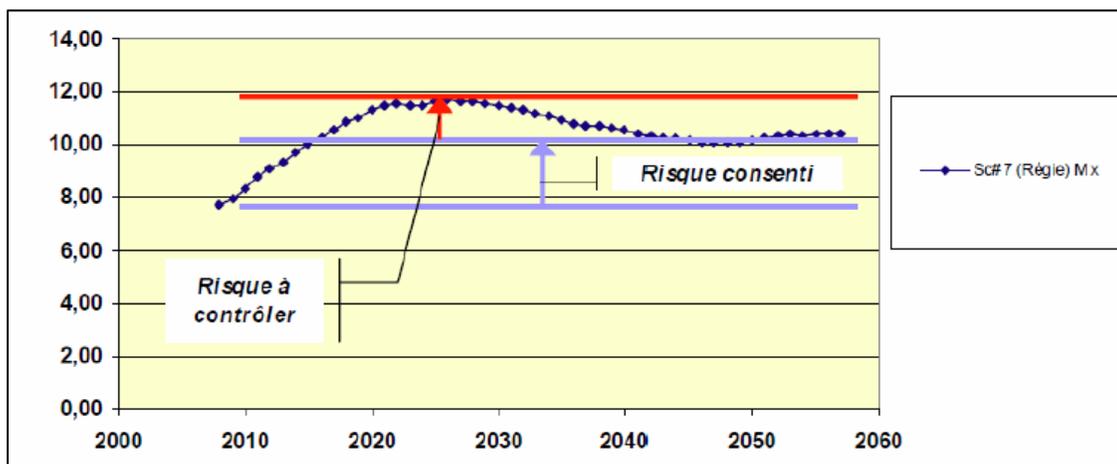
9 Pour mieux contrôler l'augmentation de l'âge moyen du parc et plus particulièrement son
 10 impact potentiel sur la sécurité, la fiabilité et la disponibilité du réseau, le Transporteur a

1 jumelé en 2013 la stratégie de gestion de la pérennité des actifs à la stratégie de
2 maintenance pour en faire un modèle complet de gestion des actifs qui vise à poser le
3 meilleur geste au moment opportun et au meilleur coût.

4 En 2013, le Transporteur documentait l'évolution de sa démarche³:

5 « [...] le Transporteur a poursuivi, en 2011 et 2012, ses efforts d'amélioration de
6 ses stratégies de pérennité et de maintenance, dans le but de continuer à
7 maintenir ce taux de risque à l'intérieur d'une marge acceptable et à le contrôler.
8 La figure [4] présente l'évolution prévue du taux de risque [en pérennité]. Pour le
9 Transporteur, il s'agit d'adapter et d'optimiser ses façons de faire, tant aux
10 investissements qu'en maintenance, pour gérer au mieux ce risque grandissant
11 tout en contrôlant l'évolution de ses coûts dans ce contexte exigeant.

Figure 4
Évolution à long terme prévue du risque en pérennité⁴



12 *Le Transporteur fait donc évoluer ces deux stratégies (maintenance et pérennité)*
13 *vers une stratégie intégrée, suivant un modèle de gestion d'actifs portant sur la*
14 *durée de vie totale de ceux-ci. Il s'agit de déterminer l'intervention la plus*
15 *appropriée compte tenu de l'état de l'actif individuel et de l'ensemble du parc, du*
16 *niveau de fiabilité à assurer, de la capacité de réalisation et des coûts en*
17 *résultant.*

18 *Par le déploiement de ce modèle, le Transporteur poursuit un objectif*
19 *d'optimisation de ses activités d'investissement et de maintenance, en*

³ Demande R-3823-2012, (demande tarifaire pour les années 2013 et 2014), HQT-3, Document 1, page 15, références omises.

⁴ Dossier R-3670-2008 (Budget d'investissement pour l'année 2009), HQT-2, Document 1, page 89

1 *systematisant l'arbitrage entre celles-ci. Cet arbitrage consiste à comparer les*
2 *options de remplacement des composantes majeures et de réalisation*
3 *d'interventions ciblées et de réhabilitation, afin de limiter la probabilité de*
4 *défaillance complète de l'équipement, et de faire le choix le plus avantageux. »*

5 En 2012, le Transporteur constatait une hausse des défaillances sur ses transformateurs de
6 puissance et ciblait donc cette famille, importante de par sa fonction sur le réseau et sa
7 valeur monétaire, en haussant les interventions de maintenance, dont les interventions de
8 maintenance conditionnelle ciblée. Le Transporteur constatait en 2014⁵ que cette approche
9 avait permis de réduire significativement le taux de bris des postes sur le réseau principal.

10 Dans le dossier R-3934-2015⁶ le Transporteur prévoyait étendre cette stratégie aux
11 disjoncteurs à haute tension du réseau principal, puis à l'ensemble des équipements du
12 parc d'actifs pour lesquels le risque de défaillance justifie une telle intervention.

⁵ Demande R-3934-2015 (demande tarifaire pour l'année 2016), HQT-3, Document 1, page 15, lignes 28 à 33 et, page 16, lignes 1 à 2.

⁶ Demande R-3934-2015 (demande tarifaire pour l'année 2016), HQT-3, Document 1, page 16, lignes 12 à 29.

2 Principes de gestion des actifs

1 Le présent chapitre vise à expliquer les principes et les concepts de maintenance et de
2 disponibilité pour assurer une base d'information commune avec le lecteur et ainsi faciliter la
3 compréhension des chapitres ultérieurs.

4 L'usage normal et l'âge ont pour effet de faire évoluer l'état réel d'un actif et d'en diminuer la
5 fiabilité. Le Transporteur décrit l'évolution de l'état réel par la *dégradation* des composants
6 et par le *vieillessement* de l'actif. Ces deux concepts seront décrits à la section 2.1.

7 Pour maintenir le bon état des installations, il est nécessaire d'intervenir sur les actifs. La
8 maintenance vise à connaître et maîtriser l'évolution de l'état réel de l'actif. Les modes de
9 maintenance et leur effet sur la fiabilité sont décrits à la section 2.2.

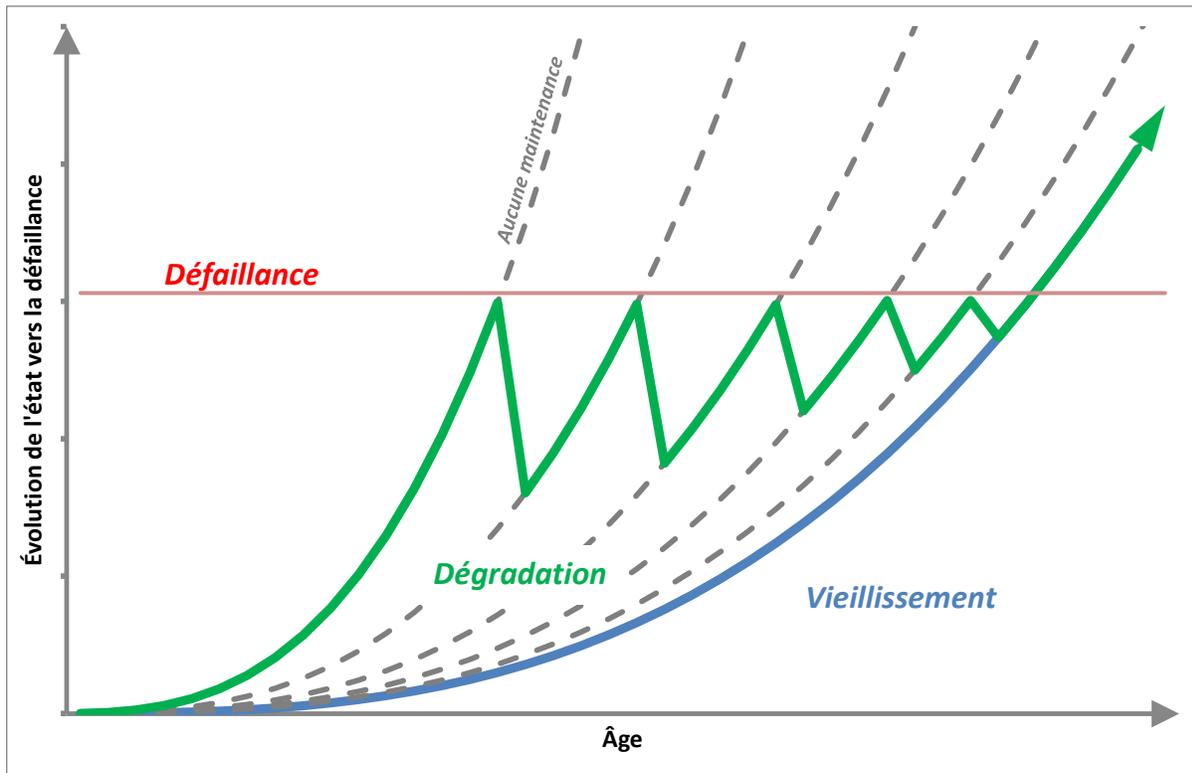
10 Les effets des défaillances et de la maintenance sur la disponibilité sont décrits à la
11 section 2.3.

2.1 L'évolution théorique de l'état d'un actif

12 La dégradation décrit l'état des pires composants, tandis que le vieillissement décrit l'état
13 général de l'ensemble de l'actif. Dans le cas de la dégradation autant que du vieillissement,
14 le phénomène s'accélère avec l'augmentation de l'âge et de l'utilisation d'un actif.

15 La figure 5 illustre de manière théorique l'évolution de la probabilité de défaillance complète
16 par l'effet combiné de la dégradation du pire composant (lignes en gris pointillé) et du
17 vieillissement de l'actif dans son ensemble (ligne bleue). On voit que durant la majorité de la
18 vie de l'actif, la maintenance conditionnelle permet de ralentir la dégradation. Puis
19 éventuellement le remplacement de l'actif devient inévitable.

Figure 5
Évolution de l'état vers la défaillance par l'effet combiné de la dégradation et du vieillissement



2.1.1 Le concept de la dégradation d'un actif

1 La *dégradation* d'un actif entraîne une baisse de fiabilité qui se caractérise par trois
2 phénomènes :

- 3 1) L'apparition de défaillances partielles ;
- 4 2) leur accumulation lorsqu'elles ne sont pas réparées ;
- 5 3) la dégénération potentielle de chacune des défaillances partielles vers la
6 défaillance complète de l'actif.

7 L'état d'un composant se dégrade jusqu'à ce qu'il ne respecte plus l'état spécifié et qu'ainsi
8 survienne une défaillance partielle, par exemple une fuite d'air sur un disjoncteur
9 pneumatique. La défaillance partielle n'empêche pas le fonctionnement immédiat de l'actif,
10 mais peut limiter son exploitabilité et pose parfois un risque sur la sécurité. Plus une
11 défaillance est détectée tôt, moins l'effort requis pour la réparer ou la contrôler est grand,
12 tant en heures qu'en coût de matériel.

13 Des défaillances partielles peuvent apparaître sur plusieurs composants d'un actif. Un seul
14 actif peut donc en accumuler plusieurs au même moment.

1 La dégradation se poursuit après l'apparition d'une défaillance partielle. La gravité d'une
2 défaillance peut donc augmenter jusqu'à ultimement affecter le fonctionnement de l'actif
3 dans son ensemble (voire même entraîner la défaillance d'autres actifs) et donc dégénérer
4 en défaillance complète. Sur la figure 5, la défaillance complète est illustrée par un
5 dépassement d'une limite indiquée en rouge.

6 Bref, l'augmentation de l'âge d'un actif tend à augmenter la fréquence d'apparition des
7 défaillances partielles lesquelles s'aggravent avec le temps. L'effet combiné de l'apparition
8 accélérée et de la dégénération des défaillances accumulées explique l'évolution
9 exponentielle de la dégradation. Heureusement, comme il sera expliqué à la section 2.2,
10 cette évolution peut être maîtrisée en partie par la maintenance préventive.

2.1.2 Le concept du vieillissement d'un actif

11 Le *vieillessement* se caractérise par la perte de fiabilité généralisée d'un actif qui survient
12 avec l'âge et entraîne ultimement l'occurrence d'une défaillance complète non-réparable et
13 donc la fin de vie de l'actif. Le vieillissement a une évolution exponentielle, qui est souvent
14 assez faible jusqu'à la durée de vie utile, puis de plus en plus rapide.

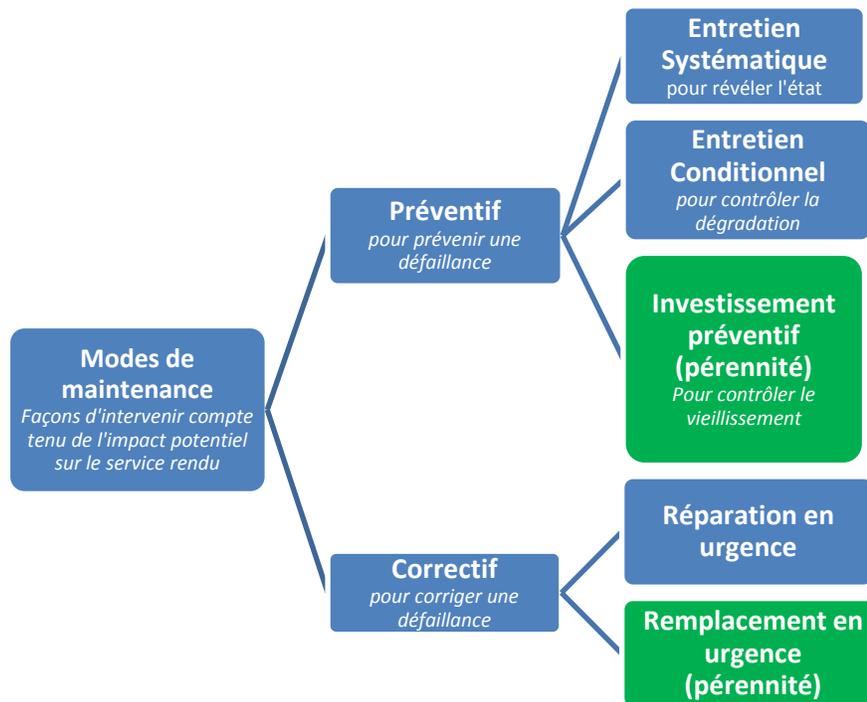
2.2 Les modes de maintenance et leur effet sur la fiabilité

15 Comme l'illustrent les courbes en gris sur la figure 5, la dégradation de certains composants
16 est plus rapide que le vieillissement global d'un actif. Sans intervention de maintenance, la
17 durée de vie de la plupart des actifs serait beaucoup plus courte que la durée de vie
18 attendue. Or, la dégradation peut être ralentie par des interventions préventives judicieuses
19 et une portion des défaillances partielles et des défaillances complètes peuvent être
20 réparées. L'effet de contrôle de dégradation qu'offre la maintenance préventive est illustré
21 par la courbe en vert sur la figure 5.

22 De plus, il y a un lien important entre les interventions de maintenance et les
23 investissements en maintien des actifs. Pour maintenir la fiabilité d'un actif neuf, l'entretien
24 est évidemment préférable au réinvestissement. Avec l'âge, l'équilibre entre les efforts
25 requis en entretien, le coût du remplacement d'un actif et les bénéfices tirés de l'actif rend
26 graduellement le réinvestissement préférable, ce qui confirme la part importante de la
27 stratégie de pérennité dans le MGA du Transporteur.

28 Par ailleurs, une intervention proactive avant la défaillance complète permet d'éviter les
29 pires effets de la défaillance sur la disponibilité et la sécurité, tel que présentés au
30 chapitre 3. Pour ce qui est des défaillances partielles non-réparables, leur détection a
31 néanmoins une grande utilité car elle permet d'anticiper de manière plus précise leur
32 évolution et d'agir en remplaçant l'actif avant sa défaillance complète et ainsi prévenir les
33 conséquences indésirables de cette dernière.

Figure 6
Les modes de maintenance



1 Pour distinguer la maintenance préventive aux budgets de charges nettes d'exploitation
2 (« CNE ») de celle aux investissements, le Transporteur utilise de manière usuelle
3 respectivement les termes « maintenance préventive » (ou « entretien ») et « gestion de la
4 pérennité » (ou simplement « pérennité »).

2.2.1 Maintenance corrective (et remplacements en urgence)

5 Lors d'occurrence d'une défaillance complète, une intervention est requise pour rendre de
6 nouveau disponible un actif. De telles interventions réalisées en urgence constituent le
7 mode de *maintenance corrective*.

8 Lorsque la défaillance complète est réparable (sur la figure 5, la ligne verte dépasserait la
9 ligne rouge), une maintenance corrective est réalisée aux budgets de CNE.

10 Lorsque la défaillance n'est pas réparable ou que la réparation n'est pas économiquement
11 avantageuse (sur la figure 5, la ligne bleue dépasserait la ligne rouge), l'actif est remplacé
12 aux budgets d'investissement en maintien des actifs.

2.2.2 Maintenance préventive et gestion de la pérennité

13 La rapidité de détérioration et de vieillissement est propre à chaque technologie pour
14 chaque famille d'actifs. Bien que l'apparition d'une défaillance soit aléatoire, elle est souvent

1 dépendante du passage du temps ou dépendante de l'utilisation de l'actif. Pour de grands
2 groupes d'actifs comme ceux du Transporteur, cette dépendance permet d'établir des
3 prédicteurs. Ces prédicteurs rendent possibles la mise en place d'un mode de *maintenance*
4 *préventive* qui permet de maîtriser la détérioration et le vieillissement et dont l'objectif est de
5 retarder la défaillance complète, puis d'agir juste avant son occurrence. Les prédicteurs
6 utilisés par le Transporteur seront décrits au chapitre 4.

2.2.2.1 *Maintenance systématique*

7 La maintenance systématique consiste à inspecter et à effectuer des actions sur les actifs
8 pour, entre autres :

- 9 1) mesurer la dégradation des composants ;
- 10 2) mesurer le vieillissement de l'actif dans son ensemble ;
- 11 3) détecter et diagnostiquer les défaillances partielles ;
- 12 4) déterminer la gravité des défaillances détectées ;
- 13 5) assurer un certain entretien minimal (ex : lubrification préventive).

14 La connaissance de l'état réel d'un actif permet d'agir au moment opportun. C'est pourquoi
15 la mesure de la dégradation permet d'améliorer l'efficacité de la maintenance conditionnelle
16 tandis que la connaissance du vieillissement permet d'améliorer l'efficacité de la gestion de
17 la pérennité.

18 Connaître le niveau de dégradation et détecter les défaillances partielles sont les conditions
19 préalables à la réalisation d'une maintenance conditionnelle. La rapidité de dégradation et
20 les différents modes de défaillance des actifs ont été étudiés par famille et par technologie,
21 ce qui a permis d'établir, si applicable, les fréquences d'entretien systématique et les types
22 d'essais qui maximisent les chances de détection de la défaillance au moment le plus
23 opportun.

24 La détermination de la gravité des défaillances partielles permet de déterminer l'ordre de
25 priorité des interventions de maintenance conditionnelle pour maximiser l'effet de cette
26 maintenance.

27 Notons ici que la maintenance systématique n'est pas réactive. Il s'agit plutôt d'une action
28 purement préventive visant un diagnostic. L'importance de la maintenance préventive, et
29 particulièrement de la maintenance systématique, peut parfois être sous-estimée et
30 considérée à tort comme étant de moindre importance par rapport à d'autres considérations
31 opérationnelles ou de rentabilité à court terme. L'expérience et les simulations du
32 Transporteur démontrent que la connaissance de l'état réel qu'apporte la maintenance
33 systématique est d'une importance cruciale pour le contrôle à moyen et long terme de la
34 fiabilité de son parc d'actifs.

1 Certaines interventions mineures recommandées par le fabricant sont réalisées à
2 fréquence fixe et visent à ralentir la dégradation. Elles font partie de la maintenance
3 systématique car elles ont été prises en compte dans le calcul de la durée de vie escomptée
4 lors de la conception.

2.2.2.2 Maintenance conditionnelle

5 L'état de certains composants évolue plus rapidement que l'état général de l'actif. La
6 dégradation est donc plus rapide que le vieillissement. La maintenance conditionnelle est
7 donc requise pour contrôler la dégradation et ainsi éviter que l'évolution trop rapide de l'état
8 d'un composant n'entraîne une baisse significative de la fiabilité d'un actif avant la fin de sa
9 durée de vie attendue.

10 La réparation d'un composant permet d'éliminer une défaillance partielle et ainsi prévenir sa
11 dégénération en défaillance complète. La réparation peut aller jusqu'au remplacement
12 complet du composant (voir maintenance ciblée ci-dessous).

13 Certains actifs nécessitent un ajustement occasionnel qui, en plus de son effet bénéfique
14 sur la fiabilité, permet de maîtriser la performance d'un actif.

2.2.2.3 Maintenance (conditionnelle) ciblée

15 La maintenance ciblée est une maintenance conditionnelle exceptionnelle par son ampleur.
16 Le type d'intervention s'apparente à celle en gestion de la pérennité (voir ci-dessous) mais
17 ne cible généralement qu'un seul composant de l'actif plutôt que l'actif dans son ensemble
18 et, de ce fait, est imputée aux CNE. Le remplacement ou la remise à neuf du composant est
19 parfois nécessaire en raison d'une usure excessive ou prématurée et parfois simplement
20 recommandée par le fabricant. Lorsqu'un même constat affecte une population d'actifs, un
21 programme de maintenance ciblée est initié. L'intervention sur le composant permet
22 d'assurer à l'actif un niveau de fiabilité adéquat jusqu'à sa pleine durée de vie.

23 Par exemple, le changeur de prise en charge d'un transformateur ou la commande d'un
24 disjoncteur comportent des pièces mobiles qui, selon l'usage, peuvent se dégrader plus
25 rapidement que les pièces statiques du reste de l'appareil. L'usure prématurée de la
26 commande des disjoncteurs de modèle GFX en est un bon exemple qui sera présenté en
27 détails à la section 4.2.4.1.

2.2.2.4 Gestion de la pérennité

28 Le dernier type de maintenance préventive est la gestion de la pérennité. La gestion de la
29 pérennité réduit ou élimine le vieillissement en effectuant un réinvestissement. Ce
30 réinvestissement peut être un remplacement, une remise à neuf ou une réhabilitation d'un
31 actif.

1 Des prédicteurs peuvent aider à déterminer l'ordre de priorité des interventions pour
2 maximiser les chances de prévenir la défaillance complète. Les prédicteurs utilisés par le
3 Transporteur seront décrits au chapitre 4.

2.3 L'effet des défaillances et de la maintenance sur la disponibilité

4 Les défaillances ont un effet sur la fiabilité, la disponibilité et potentiellement sur la sécurité.
5 La maintenance préventive et la gestion de la pérennité visent à prévenir les effets
6 indésirables des défaillances, mais au prix d'un impact contrôlé sur la disponibilité des
7 actifs. La section suivante décrira spécifiquement les effets potentiels des défaillances, puis
8 de la maintenance préventive et la gestion de la pérennité sur l'exploitabilité et la
9 disponibilité. Par la suite, il sera expliqué comment ces deux causes d'indisponibilité
10 s'affectent mutuellement.

2.3.1 Défaillance partielle : restriction d'exploitation

11 Les défaillances partielles n'ont pas d'impact sur la disponibilité. Néanmoins certaines
12 défaillances affectent la performance de l'actif en restreignant son usage normal.
13 Lorsqu'une capacité diminuée ou une exploitabilité limitée est constatée, des restrictions
14 sont appliquées à l'exploitation de l'actif de manière à respecter ces nouvelles limites et
15 minimiser le risque de dégénération de la défaillance. Lorsque la défaillance qui entraîne
16 une restriction est réparable, un entretien conditionnel est planifié puis réalisé. Lorsque la
17 défaillance partielle n'est pas réparable, la seule alternative à la restriction est le
18 remplacement de l'appareil. Les zones d'accès limité et le mauvais fonctionnement d'une
19 télécommande d'appareil sont deux exemples de restrictions d'exploitation qui entraînent
20 une perte d'exploitabilité.

2.3.2 Défaillance complète : indisponibilité forcée

21 L'occurrence d'une défaillance complète d'un actif s'avère hautement indésirable car
22 l'événement qui survient entraîne l'IF (voir au chapitre 3). La défaillance peut aussi avoir un
23 effet plus étendu sur la fiabilité et la disponibilité du réseau de même que sur la sécurité. La
24 défaillance complète est également source d'inefficience car l'IF de l'actif, jusqu'à sa
25 réparation ou son remplacement, bouleverse les interventions planifiées. De plus, l'urgence
26 d'agir lors de l'IF limite les solutions qui auraient été possibles lors d'une intervention
27 planifiée.

28 En plus des risques pour la sécurité et la fiabilité du réseau, la défaillance complète rend
29 indisponible un actif. Cette indisponibilité vulnérabilise le réseau jusqu'à ce que la
30 défaillance soit réparée ou que l'actif soit remplacé. Une défaillance en période de forte
31 sollicitation du réseau a généralement des impacts directs, comme la diminution de la
32 capacité de transit ou l'interruption de service, ou indirects dans la mesure où ils forcent le

1 Transporteur à reconfigurer le réseau pour se prémunir contre une éventuelle défaillance
2 supplémentaire⁷.

2.3.3 Redondance

3 Le Transporteur a conçu son réseau avec une certaine redondance des équipements
4 principaux et avec des sectionneurs qui permettent d'isoler les équipements principaux en
5 cas de défaut. Le Transporteur met également en place des plans de contingence et
6 s'assure de disposer d'appareils et de pièces d'assurance pour limiter les impacts en
7 diminuant la durée de l'indisponibilité et/ou la portée des effets.

2.3.4 Contingence

8 Il demeure que plus le nombre d'indisponibilités est élevé, plus la redondance du réseau est
9 mise à l'épreuve et plus la probabilité de deux indisponibilités simultanées (double
10 contingence) dans une même installation est forte. Dans un réseau à simple redondance, la
11 double contingence a évidemment des effets hors des contraintes d'exploitation habituelles
12 et les effets sur la fiabilité du réseau et la qualité de service aux clients sont démesurés par
13 rapport aux événements habituels.

14 En comparaison avec une défaillance simple qui permet un rétablissement par la manœuvre
15 d'appareils, la double contingence nécessite la réparation ou le remplacement de l'un des
16 appareils défaillants. Le temps de rétablissement par manœuvre est de l'ordre de quelques
17 secondes à quelques heures tandis que le temps de réparation ou de remplacement est de
18 l'ordre de quelques heures à quelques semaines.

19 Malheureusement, le coût d'une conception à double redondance est prohibitif par rapport
20 au contrôle adéquat des contingences par une maintenance préventive. Des cas concrets
21 de contingences réelles sont présentés à la section 3.3 du présent document.

2.3.5 Indisponibilités (retraits) planifiées

22 Paradoxalement, la maintenance préventive et la gestion de la pérennité nécessitent des
23 retraits d'exploitation qui ont eux-mêmes un impact planifié et contrôlé sur la disponibilité.
24 Lorsque possible, les retraits planifiés sont autorisés et réalisés en période creuse de
25 sollicitation d'une installation. Lorsqu'un retrait d'exploitation planifié induit un risque
26 important sur la qualité de service aux clients, en cas d'événement concurrent sur un autre
27 équipement, le Transporteur met en place des mesures de contingences pour assurer de
28 limiter l'impact d'un événement anticipé sur le service. Rappelons que non seulement
29 l'indisponibilité planifiée est avantageuse du point de vue de la disponibilité, mais surtout, en

⁷ Sur le réseau BULK, la NERC exige le retour à une configuration stable en moins de 30 minutes.

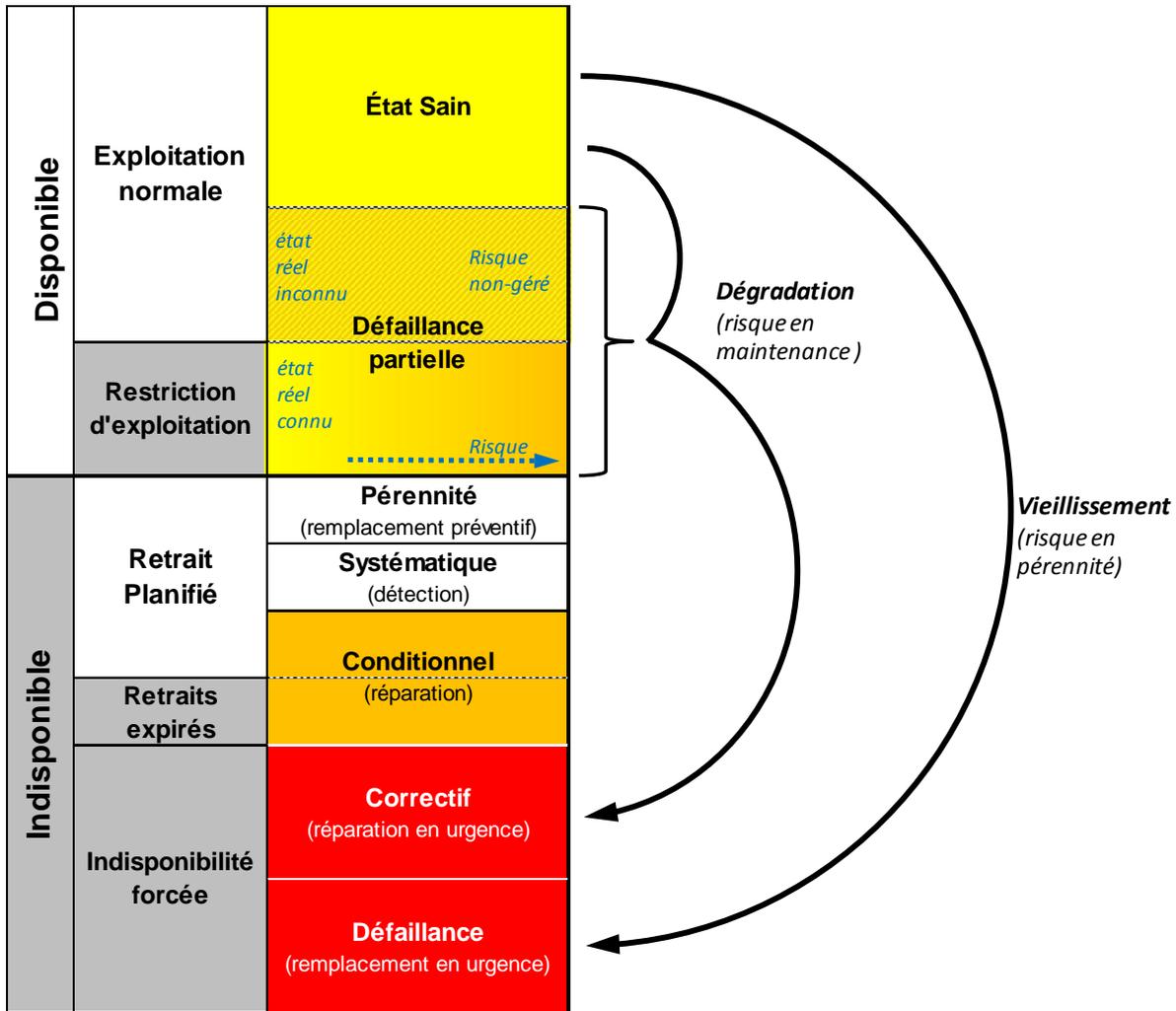
1 permettant la maintenance préventive, elle prévient les impacts potentiels sur la fiabilité et la
2 sécurité.

3 Généralement, une défaillance partielle détectée lors d'un retrait pour entretien
4 systématique est réparée si possible dans le délai de retrait planifié ou sinon dans un retrait
5 planifié ultérieur. Il arrive par contre que l'inspection décèle un état très près de la
6 défaillance complète et force une intervention immédiate qui entraîne une prolongation du
7 retrait au-delà de la durée planifiée. La portion du retrait qui dépasse la durée planifiée est
8 nommé « retrait expiré ». Heureusement, le retrait expiré survient à la suite d'un retrait
9 planifié et donc généralement en période de moindre utilisation de l'installation. Il perturbe
10 néanmoins grandement les travaux planifiés.

2.3.6 Lien entre l'évolution de l'état, la maintenance et la disponibilité

11 La figure 7 montre comment chaque type d'intervention en maintenance préventive et en
12 gestion de la pérennité affecte la disponibilité. Elle montre également la dégradation, le
13 vieillissement et les types d'intervention qu'ils entraînent. Les zones en jaune montrent que
14 la fiabilité n'est jamais parfaite tandis que celles combinant du jaune et du orange montrent
15 une fiabilité inadéquate et donc des défaillances partielles. Ces dernières peuvent être
16 inconnues (risque non-géré) ou alors connues et classées par priorité. Les interventions de
17 maintenance conditionnelle sont représentées en orange car elles affectent de manière
18 contrôlée la disponibilité et visent généralement des défaillances partielles pour lesquelles la
19 réparation est jugée prioritaire. Les interventions correctives ont été indiquées en rouge car
20 elles font suite à l'IF d'un actif (défaillance complète) et reflètent une baisse de fiabilité qui
21 n'a pu être prévenue. La figure n'est évidemment pas à l'échelle et est présentée à titre
22 explicatif seulement.

Figure 7
Lien entre l'évolution de l'état, la maintenance et la disponibilité



2.3.6.1 Effet de la maintenance systématique sur la disponibilité

- 1 Sur la figure 7, la séparation des défaillances partielles sert à refléter l'effet de détection
- 2 qu'offre la maintenance systématique (voir la section 2.2.2.1).
- 3 On ne peut évidemment pas réparer une défaillance inconnue, qu'elle soit prioritaire ou non.
- 4 La détection par la maintenance systématique permet une meilleure connaissance de l'état
- 5 réel et permet ainsi d'augmenter l'efficacité de la maintenance conditionnelle simplement en
- 6 ciblant mieux les interventions prioritaires. En l'absence de maintenance systématique, la
- 7 défaillance partielle ne sera pas détectée et se dégradera jusqu'à forcer une intervention
- 8 corrective, avec un retrait forcé.

2.3.6.2 Effet de la maintenance conditionnelle sur la disponibilité

1 L'augmentation de la maintenance conditionnelle permet de diminuer le nombre de
2 défaillances partielles connues accumulées et d'ainsi prévenir leur dégénération en
3 défaillance complète. Elle diminue donc l'occurrence d'événements et la maintenance
4 corrective qui en découle.

2.3.6.3 Effet de la gestion de la pérennité sur la disponibilité

5 L'augmentation des interventions préventives en pérennité permet de contrer le
6 vieillissement en diminuant l'âge des actifs les plus vieux ou usés. La hausse des
7 remplacements préventifs devrait donc diminuer les défaillances complètes et notamment
8 les remplacements en urgence. Soulignons par ailleurs que les interventions en pérennité
9 éliminent complètement les défaillances partielles accumulées sur un actif donné. Cet effet
10 bénéfique n'est pas un moyen efficient de contrôler la dégradation sur l'ensemble des actifs
11 car les coûts de remplacement sont beaucoup plus élevés que les coûts de maintenance.
12 Par exemple, les investissements du Transporteur en maintien des actifs ne ciblent qu'une
13 faible proportion des actifs (de l'ordre de 1 % par année) tandis que les budgets de
14 maintenance aux CNE permettent de contrôler les défaillances partielles qui apparaissent
15 sur le reste des actifs.

2.3.7 Équilibre entre la fiabilité et la disponibilité

16 La maintenance préventive et la gestion de la pérennité visent donc une réduction du
17 nombre d'événements. Il est important de noter que s'il y a eu accumulation de défaillances
18 partielles inconnues, une hausse de l'entretien systématique et conditionnel peut entraîner
19 une hausse temporaire et circonstancielle du nombre de retraits expirés alors que les pires
20 défaillances sont détectées puis réparées.

21 En prenant compte de ce qui précède, le Transporteur vise à assurer la disponibilité des
22 actifs au moment voulu. Il vise donc à intervenir de manière planifiée au moment opportun
23 pour l'actif autant que pour le réseau et chaque retrait planifié vise à maximiser la
24 disponibilité future et à prévenir l'occurrence d'événements.

2.4 Les spirales du déclin de fiabilité

25 À l'inverse des effets décrits à la section précédente, la perte de disponibilité ou
26 d'exploitabilité peuvent à leur tour avoir un effet sur la maintenance.

27 En effet, l'occurrence d'un événement force l'exploitant à annuler les autres interventions
28 planifiées dans l'environnement immédiat, ce qui force à ajuster l'ordonnancement des
29 travaux et ce, jusqu'à ce que l'actif soit redevenu disponible.

1 Dans un même ordre d'idées, certaines restrictions d'exploitation complexifient les
2 manœuvres nécessaires à la prise de retraits ou, dans le cas particulier des zones d'accès
3 limité, bloquent l'accès aux équipements avoisinants. Par exemple, un sectionneur
4 inopérant, bien que disponible, agrandit les portions du réseau affectées lors de manœuvres
5 ou d'événements au-delà de la conception, si bien que ce type de restriction d'exploitation a
6 un effet sur l'exploitabilité parfois aussi élevé que celle de la défaillance complète de
7 l'appareil.

8 La baisse de la fiabilité nourrit donc ses propres causes par l'effet de deux boucles de
9 rétroaction ou spirales de déclin. Premièrement, la baisse de fiabilité détourne les
10 ressources de l'entretien préventif vers l'entretien correctif. Deuxièmement, la baisse de
11 fiabilité réduit la disponibilité des équipements pour les retraits planifiés en plus de
12 bouleverser la planification des travaux sur les équipements avoisinants. Dans les deux cas,
13 la maintenance maîtrise alors moins bien l'état, puis la dégradation de l'état des appareils
14 affecte à son tour négativement leur fiabilité et ainsi l'utilisation efficiente des ressources,
15 etc.

16 Rappelons que la dégradation et le vieillissement ont une évolution exponentielle. L'effet
17 des boucles de rétroaction décrites précédemment est donc d'autant plus rapide que l'actif
18 est vieux ou usé. À la section 3.3 seront présentés quelques cas illustrant cette perturbation
19 des activités.

3 Indicateur de l'état des actifs

1 Le présent chapitre vise à introduire un indicateur de l'état des actifs qui donne une
2 perspective des défis majeurs auxquels doit faire face le Transporteur pour maintenir sa
3 performance malgré un parc d'équipement de plus en plus âgé. À ce titre, le Transporteur
4 illustrera à l'aide d'exemples les impacts de la hausse des IF sur l'exploitabilité et la
5 maintenabilité du réseau.

6 À la section 3.5, en réponse à la demande de la Régie visant la présentation d'une preuve
7 étayée lui permettant d'apprécier les résultats actuels de la stratégie adoptée quant au
8 maintien des actifs⁸, le Transporteur présente le cas de la famille des transformateurs de
9 puissance. Ce cas démontre le bien-fondé de la stratégie du Transporteur par la
10 stabilisation des IF suite à la mise en œuvre du MGA

3.1 Les indisponibilités forcées

11 Le nombre d'IF est une statistique que le Transporteur suit à l'interne afin mesurer l'effet de
12 l'ensemble des défaillances et des interventions de maintenance sur la disponibilité des
13 actifs de son parc.

14 Comme décrit à la section 2.3.2, les IF font référence à des retraits non planifiés
15 d'équipements à la suite de défaillances qui nécessitent une maintenance corrective ou un
16 remplacement en urgence. L'indisponibilité d'un équipement peut entraîner celle d'un autre
17 équipement. Par exemple, par sa fonction d'isolation, un sectionneur est par définition
18 toujours en série entre un appareil principal et une barre. Son indisponibilité entraîne donc
19 une indisponibilité d'un appareil principal. Cela étant dit, les IF sont un indicateur de l'état
20 général des actifs. Cependant, l'indicateur est limité aux actifs directement reliés au réseau
21 de transport d'électricité et, du fait, ne couvre pas les actifs civils, par exemple.

22 Le Transporteur présente chaque année à la Régie l'indicateur de fiabilité du service
23 « Indice de continuité - Transport » dans ses demandes tarifaires. L'IC - Transport est un
24 bon indicateur de fiabilité du réseau, mais n'est pas un indicateur précoce de l'évolution de
25 l'état du réseau. D'une part, une minorité des interruptions de service sont occasionnées par
26 les défaillances d'équipements, le reste provenant de causes externes. D'autre part, l'effet
27 des événements causés par les défaillances d'équipements est diminué par la conception
28 redondante du réseau (voir la section 2.3.3) combinée aux automatismes d'isolation et de
29 rétablissement. C'est donc dire que du point de vue de la mesure de l'état des actifs,
30 l'IC - Transport n'est pas une mesure prédictive, mais permet seulement de constater a
31 posteriori la perte de fiabilité. Le Transporteur souligne que, dû à l'effet d'inertie, une

⁸ D-2016-029, paragraphe 40 (Dossier R-3934-2015)

1 détérioration perceptible de l'IC - Transport en raison d'une perte de fiabilité nécessitera des
2 efforts considérables sur plusieurs années pour rétablir la fiabilité. Il est aussi important de
3 rappeler que la double contingence expliquée à la section 2.3.4, est un événement aux
4 effets extrêmes qui doit être prévenue autant que possible.

5 Le Transporteur a aussi présenté à la Régie, dans le cadre de sa demande tarifaire 2016⁹,
6 l'indicateur du taux de bris des équipements. Cet indicateur tient compte d'une partie des
7 données d'indisponibilité. Il ne reflète que les déclenchements causés par des défaillances,
8 donc seulement les cas où l'appareil a été mis hors tension par l'opération automatique
9 d'une protection et ce, seulement sur les appareils principaux (transformateurs, disjoncteurs
10 et équipements de compensation). Or, une grande portion des indisponibilités fait suite à
11 une mise hors tension en urgence, mais volontaire, suite à la détection par des alarmes ou
12 des inspections et est donc exclue du calcul du taux de bris. De plus, le taux de bris tient
13 compte uniquement des équipements principaux qui, bien que très importants pour le
14 réseau, ne constituent pas les seuls équipements du parc d'actifs.

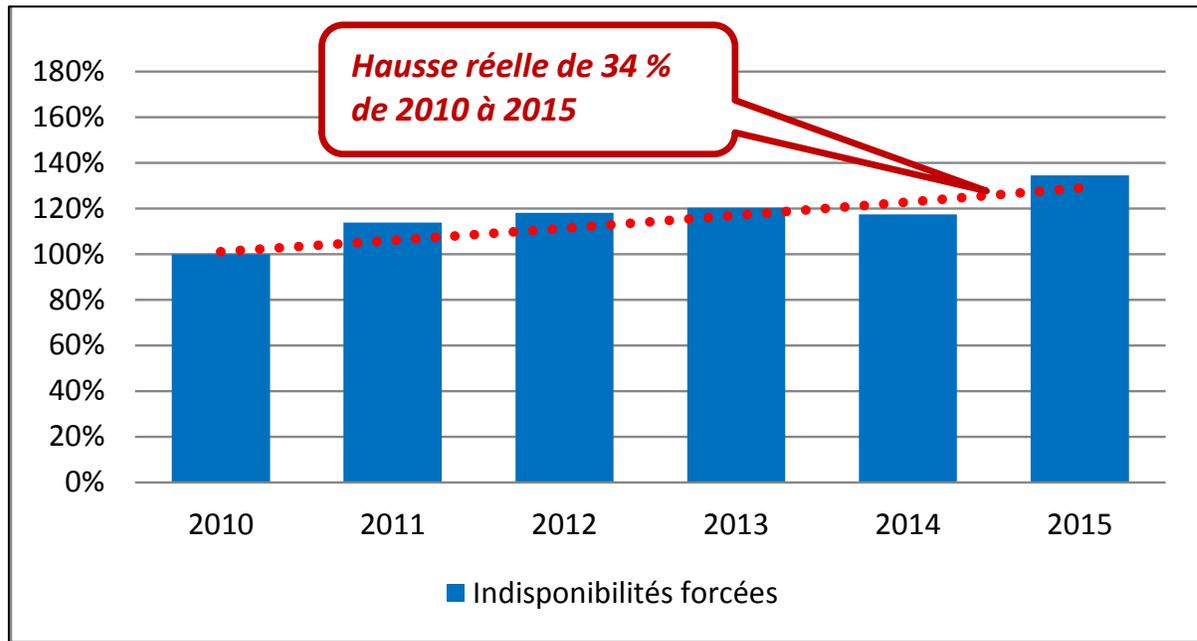
15 C'est pourquoi, dans un souci de mieux refléter l'effet de l'ensemble des défaillances et des
16 interventions de maintenance sur la disponibilité des équipements de l'ensemble du parc, le
17 Transporteur juge opportun de mesurer l'ensemble des IF sur l'ensemble des équipements.

3.2 Évolution des indisponibilités forcées

18 La figure 8 ci-dessous illustre l'évolution des IF depuis 2010. En soi, le nombre d'IF a
19 augmenté de l'ordre de 34 % entre 2010 et 2015. Une telle situation présente des impacts
20 de plus en plus grands sur l'exploitation du réseau et la maintenabilité du parc et doit être
21 redressée.

⁹ R-3934-2015, HQT-3, Document 1, pages 14 à 16 et HQT-13, Document 1, pages 11 et 12.

Figure 8
Indisponibilités forcées des équipements - Évolution réelle 2010 à 2015



3.3 Impact des indisponibilités forcées

- 1 Dans cette section, le Transporteur illustre par des exemples les impacts de la hausse des
2 IF.

3.3.1 Hausse des situations de contingence : L'exemple de la zone « A »

3 Par le cas suivant, expérimenté en 2016, le Transporteur vise à illustrer comment les IF
4 entraînent une vulnérabilité croissante du réseau, en plus de l'effet incontrôlable et
5 préjudiciable d'une contingence non planifiée dans un contexte où le Transporteur est déjà
6 en contingence planifiée (lors de projets ou de travaux de maintenance).

7 La zone de charge « A » est desservie par cinq transformateurs de puissance situés dans
8 deux postes. Le Transporteur a initié un projet pour le remplacement de trois
9 transformateurs dans l'un des postes, le premier étant prévu pour la période allant du début
10 mai au mois de novembre 2016, privant ainsi la zone de charge « A » d'un transformateur
11 pendant six mois. Le 11 mai, un deuxième transformateur, dont le remplacement était prévu
12 dans le cadre de ce projet, devient indisponible et est déclaré perte totale suite à la
13 défaillance complète avec projection de l'une de ses traversées. La zone de charge « A »
14 est à ce moment privée d'un deuxième transformateur. Étant donné que le troisième
15 transformateur prévu au projet est muni de traversées de même conception que celui ayant
16 fait défaut, le Transporteur juge essentiel de le retirer préventivement du réseau, compte
17 tenu des travaux en cours dans le poste. Le remplacement de la traversée aurait donc été

1 nécessaire pour permettre de poursuivre de manière sécuritaire les travaux sur le premier
2 transformateur situé à proximité. Cependant, étant donné la faible charge en période
3 estivale et compte tenu du démantèlement imminent du troisième transformateur, le
4 Transporteur a plutôt choisi de le retirer préventivement du réseau pour le conserver en
5 relève d'urgence jusqu'à la mise en service d'un transformateur neuf prévue quelques
6 semaines plus tard.

7 Si l'incident s'était produit en période hivernale, le retrait préventif du troisième
8 transformateur n'aurait probablement pas été effectué car il y aurait eu un potentiel d'impact
9 à long terme sur la charge de cette zone, compte tenu des délais de rétablissement très
10 longs pour les transformateurs de puissance et dans le contexte où deux transformateurs
11 étaient déjà indisponibles.

12 Cet exemple illustre bien l'effet d'une contingence non planifiée qui survient alors qu'une
13 contingence est déjà présente. Il fait ressortir la vulnérabilité croissante du réseau dans un
14 contexte de hausse des IF combinée à une hausse des interventions planifiées. Fort
15 heureusement cette installation dispose d'une grande redondance en période estivale, ce
16 qui n'est pas autant le cas pour la très grande majorité des installations où une seule
17 défaillance suffit pour mettre la charge en contingence.

18 Il est intéressant également de mentionner que l'un des deux transformateurs demeurés en
19 charge a dépassé la moitié de sa vie utile. Des ressources suffisantes auraient permis au
20 Transporteur de s'assurer que les transformateurs de puissance non visés par le projet
21 soient en condition performante pour traverser la période de risque de la contingence
22 planifiée.

3.3.2 Perte d'exploitabilité : L'exemple du sous-réseau XYZ

23 Le cas du sous-réseau XYZ présente la complexification de l'exploitation du réseau (perte
24 d'exploitabilité) qu'entraîne la hausse des IF, et atteste de l'ampleur des efforts à mettre de
25 l'avant pour éviter les impacts aux clients. Il démontre que la hausse des IF expose le
26 Transporteur à une probabilité croissante d'être en configuration d'exploitation vulnérable.

27 À la fin d'avril 2016, suite au bris d'un transformateur de mesure, le Transporteur a perdu
28 une des trois lignes à 735 kV dans le corridor principal « A ». Le Transporteur est donc en
29 première contingence sur ce corridor jusqu'au retour de la ligne prévu un mois plus tard.
30 Suite à une défaillance complète de sectionneur, le Transporteur perd une seconde ligne à
31 735 kV dans le corridor « B ». Compte tenu que ces deux IF surviennent alors que des
32 températures froides sont prévues, le Transporteur craint de ne pas pouvoir satisfaire les
33 besoins de la clientèle et annule des retraits, qui étaient planifiés pour réaliser des travaux
34 de maintenance préventive sur d'autres corridors du réseau, pour assurer une capacité de

1 transit suffisante pour acheminer la puissance requise à la pointe. Les travaux de
2 maintenance préventive ainsi annulés entraînent une perte de productivité.

3 Quelques temps après le retour en réseau de la seconde ligne, la défaillance complète d'un
4 disjoncteur entraîne l'IF d'une troisième ligne à 735 kV, mais cette fois également dans le
5 corridor « A ». Cette double contingence met le réseau dans une configuration qui n'a
6 jamais été étudiée par le Transporteur. Or, les critères d'exploitation du Transporteur lui
7 imposent un délai maximal de 30 minutes pour reconfigurer le réseau afin de revenir dans
8 une configuration stable, quitte à réduire les transits, voire effectuer du délestage. Les
9 limites d'urgence ont donc été utilisées dans ce cas permettant ainsi de reconfigurer le
10 réseau dans un délai inférieur à 30 minutes et d'éviter d'autres impacts que les réductions
11 de transit.

12 Cet exemple particulier illustre aussi la portée que peuvent avoir les indisponibilités forcées,
13 même si elles sont dispersées géographiquement. La perte de la ligne sur le corridor
14 principal « A » a d'ailleurs nécessité l'annulation de travaux planifiés dans un poste situé à
15 plus de 500 kilomètres de distance.

3.3.3 Impact des indisponibilités forcées sur la maintenabilité – La perte d'efficacité : Exemple du sous-réseau « L »

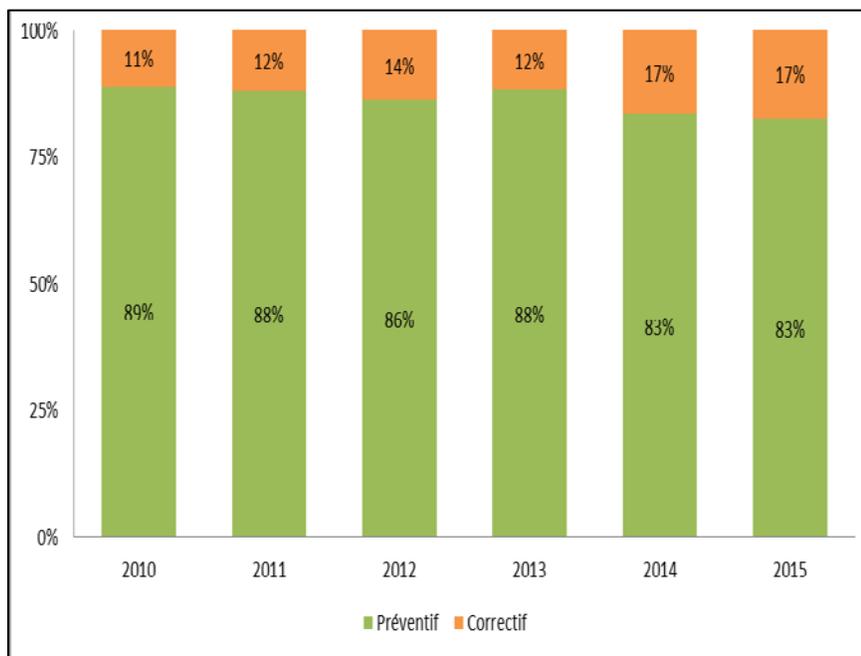
16 Le cas décrit ci-après, expérimenté aux mois de mai et juin 2016, démontre la perte de
17 productivité associée à l'effet d'une première contingence non planifiée sur la planification
18 des travaux du Transporteur.

19 À la mi-mai, le Transporteur a dû retirer de façon forcée une ligne à 230 kV desservant la
20 zone de charge « L » suite à la détection d'isolateurs fissurés dans un poste. La réparation
21 immédiate des isolateurs est requise et entraîne une IF qui met la zone de charge « L » en
22 première contingence non planifiée pour plusieurs jours. Or, des travaux majeurs étaient
23 prévus sur une autre ligne alimentant également cette zone. Compte tenu de la contingence
24 imprévue sur ce réseau, le retrait planifié aurait eu pour effet de desservir 2 postes sources
25 par une seule ligne. Le Transporteur a dû annuler son retrait planifié à la dernière minute.
26 Cette annulation a causé une perte de productivité importante compte tenu que les
27 équipements majeurs nécessaires pour les travaux planifiés avaient déjà été loués et
28 déplacés inutilement sur une grande distance avec le personnel requis. De plus, le retrait
29 annulé doit être reporté à la prochaine fenêtre de retrait possible, ce qui pourrait signifier un
30 report des travaux à l'année suivante.

3.3.4 Impact des indisponibilités forcées sur la maintenabilité – La complexification des travaux

1 Dans un contexte de fort volume de projets et de travaux de maintenance préventive, la
2 hausse des IF causée par les bris majeurs, les interventions de maintenance corrective ou
3 de remplacement en urgence sont autant d'évènements qui compromettent la maintenabilité
4 du réseau. À titre illustratif, le Transporteur présente à la figure 9, la tendance observée d'un
5 transfert des ressources dédiées à la maintenance préventive vers la maintenance
6 corrective. Un tel état de fait résulte de la hausse des défaillances complètes d'actifs qui, à
7 leur tour, bouleversent la réalisation des activités de maintenance préventive.

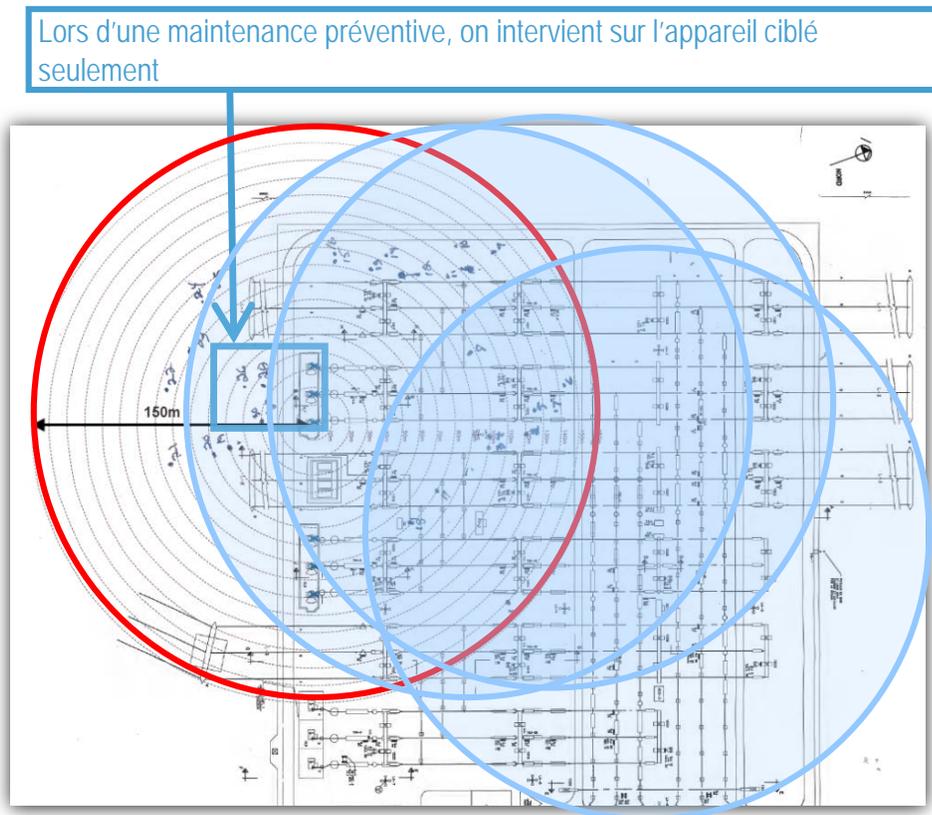
Figure 9
Tendance de la maintenance préventive et corrective



8 Le Transporteur souligne que les bris similaires sur plusieurs actifs d'un même modèle, en
9 plus de donner lieu à une croissance des IF, peuvent dans certains cas se répercuter sur
10 les autres actifs du même modèle toujours en exploitation et ainsi engendrer de nouvelles
11 restrictions d'exploitation et affecter la réalisation des travaux. De telles situations pourraient
12 aussi nécessiter la mise en place de zones d'accès limitées (« ZAL ») qui impactent
13 particulièrement la maintenabilité en bloquant l'accès aux équipements. Le Transporteur
14 illustre, à la figure 10, le cas d'une zone d'accès limité qui bloque l'accès à une cinquantaine
15 d'équipements qui se trouvent dans le périmètre de la ZAL. En l'absence de ZAL, lors d'une
16 intervention en maintenance préventive, l'équipement ciblé (illustré par le rectangle bleu) est
17 aisément accessible et ne limite pas la maintenabilité des autres équipements autour. Les

- 1 cercles en bleu illustrent le cas réel de certains postes du Transporteur où l'existence de
- 2 plusieurs ZAL limite considérablement ses possibilités d'intervention. Au 23 juin 2016, le
- 3 Transporteur comptait 982 ZAL actives sur son réseau.

Figure 10
Illustration de l'impact d'une ZAL dans un poste

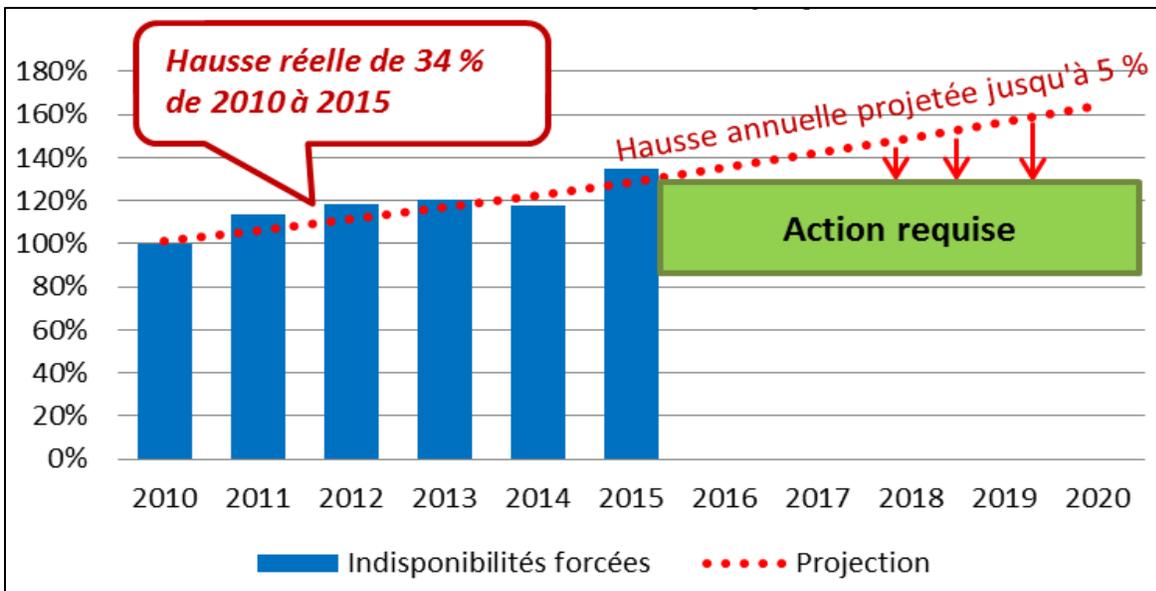


- 4 Il est certain que la hausse des IF, combinée au fort volume de projets et de travaux de
- 5 maintenance prévus par le Transporteur, impliquent une hausse comparable de la
- 6 probabilité d'occurrence d'une double contingence comme mentionné à la section 2.3.4. La
- 7 hausse de cette probabilité, observée au réel par le Transporteur, entraîne une vulnérabilité
- 8 croissante du réseau, au détriment tant du Transporteur que de la clientèle. Cette dernière
- 9 se voit exposée à une diminution de la qualité du service. De son côté, le Transporteur est
- 10 non seulement confronté à des risques accrus de non-conformité, mais aussi à une
- 11 inefficience croissante due à l'augmentation de la maintenance corrective qui, en plus des
- 12 effets « volume » et « dégradation », limitent la portée des ressources allouées à la
- 13 maintenance préventive.

3.4 Contrôle requis des indisponibilités forcées

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

Figure 11
Projection de la hausse des indisponibilités forcées avec le niveau de ressource actuel



8 Il est important de noter que la hausse des IF se traduit par une hausse des premières
 9 contingences non planifiées. Cette hausse de contingences non planifiées préoccupe le
 10 Transporteur car elle s'ajoute à la hausse des contingences planifiées de longue durée en
 11 raison de la fréquence accrue des remplacements. Ces deux accroissements ont un impact
 12 combiné sur la disponibilité des actifs tandis que les contingences non planifiées y ajoutent
 13 un effet sur l'exploitabilité et la maintenabilité du réseau et sur la productivité du
 14 Transporteur; d'où la nécessité d'agir dès à présent pour contrôler et limiter la hausse
 15 des IF.

3.5 Cas de la mise en œuvre avec la famille des transformateurs de puissance

1 En réponse à la demande de la Régie visant la présentation d'une preuve étayée lui
2 permettant d'apprécier les résultats de la stratégie adoptée quant au maintien des actifs¹⁰, le
3 Transporteur présente tout d'abord le cas de la famille des transformateurs de puissance
4 Pour cette famille d'actifs, un rehaussement de la maintenance préventive a déjà été
5 effectué et les résultats obtenus démontrent l'efficacité d'une telle maintenance pour
6 prévenir les IF et démontre donc le bien-fondé de l'approche retenue par le Transporteur et
7 présentée au chapitre 5.

8 Au chapitre précédent, le Transporteur a expliqué que la hausse de l'âge moyen augmente
9 la vitesse de dégradation et de vieillissement. Cette accélération entraîne une baisse de
10 fiabilité qui, à son tour, diminue la disponibilité. L'âge moyen du parc de transformateurs de
11 puissance est de 33 ans et leur durée de vie utile moyenne est de 40 à 50 ans selon le cas.
12 Si l'âge moyen n'a augmenté que de 3 ans depuis 2008, la proportion d'appareils en
13 deuxième moitié de vie est néanmoins passée de 62 % à 71 %.

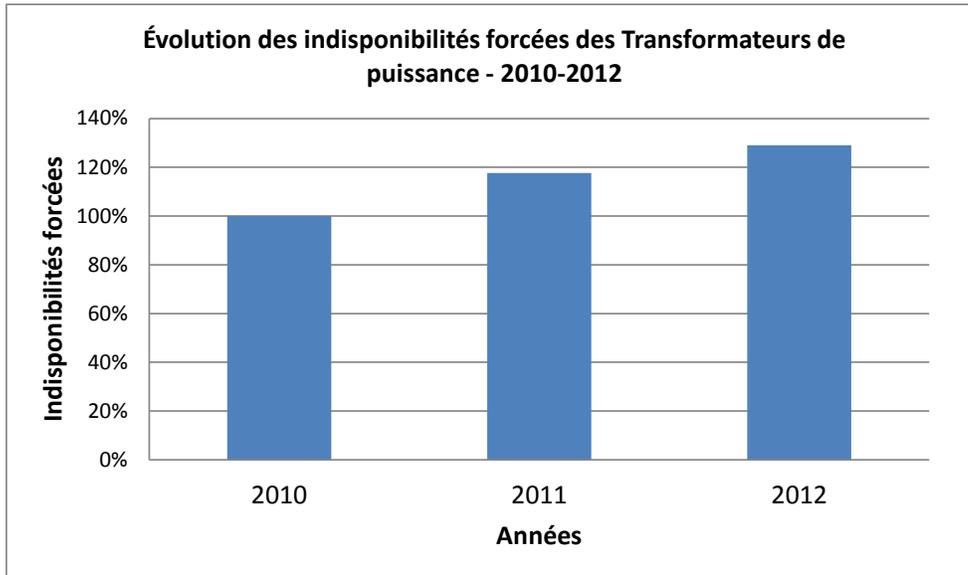
14 Comme il l'a annoncé lors de ses demandes tarifaires précédentes¹¹, le Transporteur a
15 décidé d'intensifier les activités de maintenance en commençant par les familles présentant
16 le plus grand risque de défaillance. Ainsi, le Transporteur a constaté de 2010 à 2012 une
17 hausse des défaillances de transformateurs de puissance¹² et une hausse des IF de l'ordre
18 de 15 % par année tel qu'illustré à la figure 12 ci-dessous.

¹⁰ D-2016-029 (Dossier R-3934-2015), paragraphe 40.

¹¹ Dossier R-3823-2012 (demande tarifaire pour les années 2013 et 2014), HQT-3, Document 1, page 16.

¹² R-3934-2015 (demande tarifaire 2016), HQT-13, Document 1, pages 11-12.

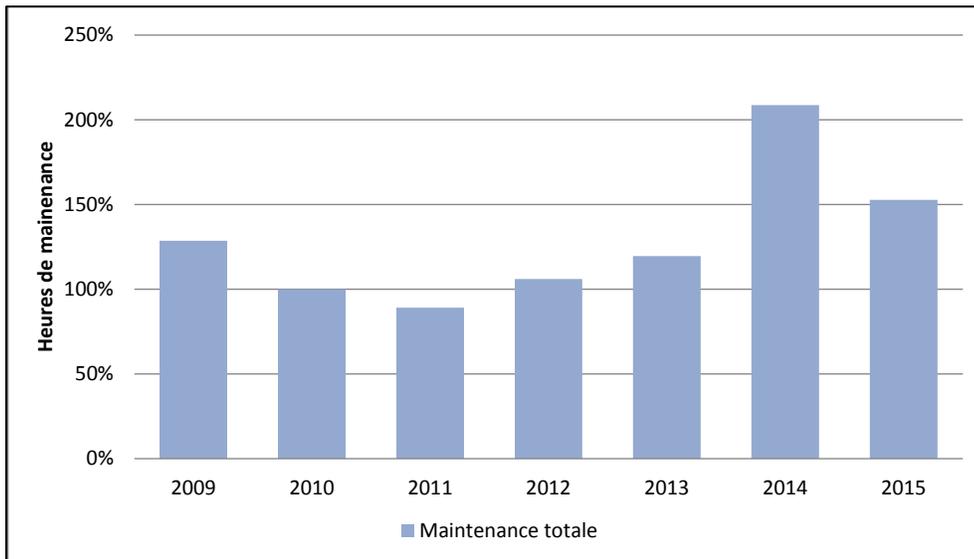
Figure 12
Évolution des indisponibilités forcées des transformateurs de puissance de 2010 à 2012



1 Face à cette hausse observée, le Transporteur a réagi en améliorant la planification et la
2 réalisation des travaux sur ces appareils, puis en augmentant de manière significative les
3 ressources allouées à la maintenance des transformateurs de puissance, particulièrement
4 pour des interventions de maintenance ciblée. La figure 13 ci-dessous illustre l'évolution des
5 heures de maintenance sur cet équipement entre les années 2010 et 2015. Au-delà des
6 heures, les ressources allouées au matériel ont elles aussi dû être ajustées à la hausse ;
7 autant d'éléments qui expliquent que les coûts réels de maintenance des équipements
8 stratégiques se sont avérés plus élevés que la prévision initialement présentée¹³.

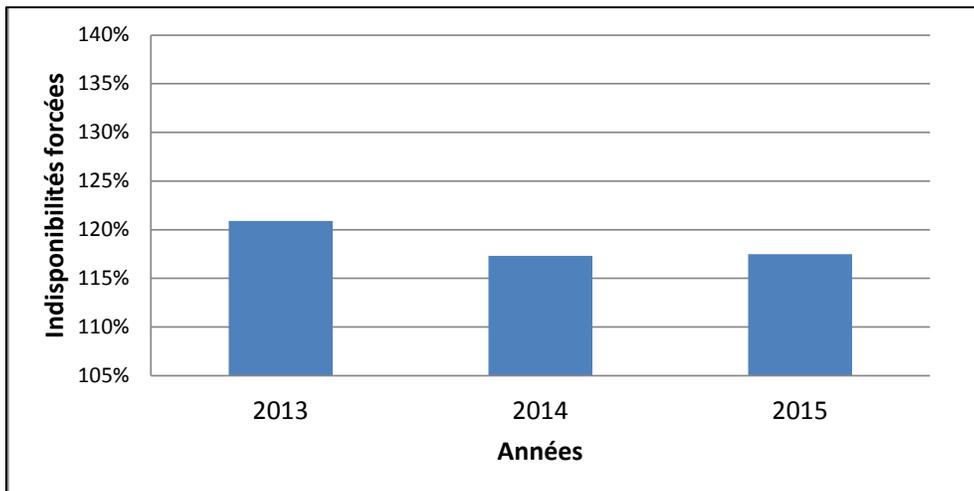
¹³ R-3934-2015, HQT-3, Document 1, page 16, lignes 10 à 12.

Figure 13
Évolution des heures de maintenance sur les transformateurs de puissance 2010 - 2015



- 1 La figure 14 montre que suite à l'intensification des activités de maintenance, le nombre d'IF
- 2 de la famille des transformateurs de puissance a connu une stabilisation puis une diminution
- 3 de 2013 à 2015.

Figure 14
Évolution des indisponibilités forcées des transformateurs de puissance de 2012 à 2015



- 4 Le Transporteur est d'avis que l'exemple des transformateurs de puissance démontre que :
- 5 1) le nombre d'indisponibilités peut évoluer rapidement avec la hausse de l'âge moyen
- 6 des équipements ;

- 1 2) la maintenance rehaussée de 2013 à 2015 sur les transformateurs a eu l'effet
2 escompté sur leur disponibilité ;
- 3 3) il y a une forte corrélation entre la réalisation d'une maintenance préventive
4 suffisante et le contrôle des IF.
- 5 Ces constats confortent le Transporteur dans la stratégie de gestion des actifs qu'il a
6 retenue et dont l'analyse de rentabilité sera présentée à la section 5.4.

4 Le modèle de gestion des actifs du Transporteur

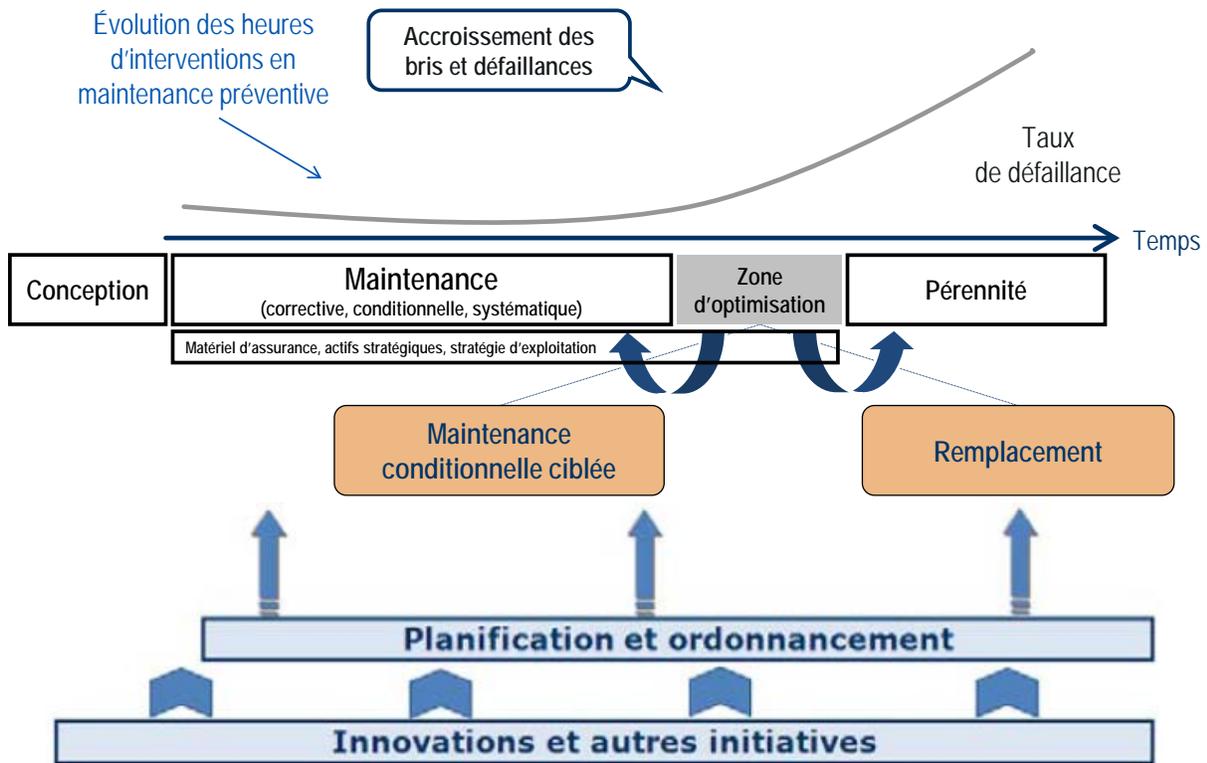
1 Ce chapitre vise à décrire le MGA du Transporteur et plus spécifiquement comment le
2 Transporteur traduit, par des modèles statistiques, les concepts et les principes présentés
3 dans les sections précédentes pour refléter l'évolution de la fiabilité de son parc d'actifs
4 selon différents scénarios d'intervention.

5 Dans le cadre de l'exercice de sa mission qui consiste à offrir un service de transport de
6 qualité à la clientèle, le Transporteur priorise la sécurité du public et des employés, la
7 fiabilité et la disponibilité des actifs, en optimisant ses interventions aux charges ou aux
8 investissements. Il s'agit donc d'une recherche d'équilibre entre la gestion des risques et les
9 ressources requises pour y arriver. Cette recherche d'équilibre est appuyée par une
10 approche de gestion du risque qui permet de traduire les concepts et principes de
11 dégradation, de vieillissement et l'effet des défaillances décrits au chapitre 2 par une
12 quantification statistique du risque. Le niveau de risque est utilisé pour établir la rentabilité
13 d'une stratégie d'intervention en comparaison avec une autre.

14 Le Transporteur présente aussi dans cette section, de manière générale, les stratégies
15 d'intervention sur les actifs et les différents facteurs qui rendent certains choix plus rentables
16 que d'autres. Ces facteurs influencent comment les modes de maintenance présentés à la
17 section 2.2 sont adaptés à chaque famille d'actifs. Il décrit ensuite plus en détails les
18 différents modèles statistiques et outils qui composent le MGA et enfin, il explique comment
19 ce modèle est utilisé pour simuler différents scénarios d'intervention et leur effet sur les
20 ressources requises ainsi que sur l'évolution des risques à court, moyen et long terme.

21 La figure 15 est une représentation graphique des divers volets couverts par le MGA qui
22 seront expliqués dans ce chapitre.

Figure 15
Le MGA du Transporteur et différentes initiatives qui s’y rattachent



4.1 Le principe de gestion du risque

- 1 Le Transporteur utilise une approche de gestion du risque pour la gestion de ses actifs. Par
- 2 cette approche, le risque d’une défaillance est quantifié par le produit de deux grands
- 3 paramètres : la probabilité d’une défaillance et l’impact de cette défaillance.
- 4 La défaillance d’un actif donné peut rarement être prédite précisément. Or, des lois
- 5 statistiques peuvent être utilisées pour des ensembles d’actifs pour décrire la probabilité de
- 6 défaillance annuelle. Autrement dit, on peut prédire la proportion d’appareils qui feront
- 7 l’objet d’une défaillance chaque année, mais pas précisément lequel. La probabilité de
- 8 défaillance est un prédicteur de fiabilité basé sur l’état d’un actif. Autrement dit, la probabilité
- 9 vise à quantifier la fiabilité d’un actif en traduisant dans les domaines statistiques les
- 10 concepts de détérioration et de vieillissement décrits à la section 2.1. Une hausse de la
- 11 probabilité de défaillances augmente le risque et est un prédicteur corrélé au nombre d’IF.
- 12 La mesure d’impact utilisée par le Transporteur prend en compte la fonction de l’actif,
- 13 l’importance de l’installation dans laquelle il est installé ainsi que son impact potentiel sur la
- 14 sécurité, l’environnement et sur les actifs connexes. Elle cherche à quantifier dans quelle
- 15 mesure les effets indésirables d’une défaillance d’un actif en particulier affecte les objectifs
- 16 de sécurité, fiabilité et disponibilité du Transporteur. Cette quantification se fait sur une

1 échelle relative et permet une comparaison des scénarios entre eux et par rapport à la
2 situation actuelle. L'impact est indépendant de l'âge ou de l'usure d'un actif, c'est plutôt au
3 moment de la conception d'une installation qu'il est possible de diminuer l'effet anticipé de
4 l'indisponibilité d'un actif par le choix de la configuration de l'installation ou de la technologie
5 d'actif utilisée. Par exemple, la défaillance d'un transformateur entraîne des délais de
6 rétablissement de plusieurs semaines pour le remplacer par un appareil de réserve. Pour
7 diminuer l'impact sur le réseau et ainsi atteindre la fiabilité souhaitée, les postes
8 stratégiques, sources et satellites du réseau ont été conçus selon un principe général de
9 redondance des fonctions de transformation. La technologie peut quant à elle influencer
10 l'effet potentiel d'un actif sur la sécurité ou sur l'environnement.

4.1.1 Risque en maintenance

11 Le Transporteur quantifie la *dégradation* par une mesure de *risque de défaillance partielle*
12 aussi appelée *risque en maintenance*. Le risque en maintenance mesure la probabilité que
13 l'une des défaillances partielles accumulée sur les composants dégénère en défaillance
14 complète de l'actif, ainsi que l'impact de cette défaillance complète.

15 La probabilité associée à une défaillance dépend de l'importance du composant affecté sur
16 le fonctionnement de l'ensemble de l'actif. Le risque en maintenance est déterminé par la
17 pire défaillance partielle sur les composants d'un actif.

18 Le Transporteur souligne que la maintenance systématique sert à améliorer la
19 connaissance de l'état réel d'un actif, elle permet donc d'augmenter la précision des
20 prédicteurs de risque en maintenance et ainsi améliorer l'efficacité de la maintenance
21 conditionnelle.

4.1.2 Risque en pérennité

22 Le Transporteur qualifie la perte de fiabilité due au *vieillessement* par le *risque en pérennité*.
23 Le risque en pérennité est associé à la fin de vie d'un actif et mesure la probabilité
24 d'occurrence d'une défaillance complète non-réparable et l'impact de cette dernière.

25 Pour la plupart des actifs, le prédicteur de probabilité de défaillance complète est
26 principalement basé sur l'âge, la désuétude et l'obsolescence. Pour certains actifs, d'autres
27 facteurs ou *critères de pérennité* sont pris en compte, comme par exemple l'état réel (ex :
28 résultats d'essais), les unités d'usage (ex : nombre d'opérations). Le risque en pérennité a
29 été expliqué par le Transporteur dans le dossier R-3670-2008¹⁴.

¹⁴ Budget d'investissement pour l'année 2009, pièce HQT-2, Document 1, chapitre 4, pages 44 et 45.

1 Comme mentionné précédemment, en améliorant la connaissance de l'état d'un actif, la
2 maintenance systématique permet d'augmenter la précision des prédicteurs de risque en
3 pérennité et ainsi améliorer l'efficacité de la gestion de la pérennité.

4.2 Équilibre entre les stratégies d'intervention

4 Rappelons qu'avec l'âge et l'usage, l'équilibre entre les efforts requis en entretien
5 (maintenance) et le coût du remplacement d'un actif devient graduellement favorable à ce
6 dernier. C'est dans cet esprit que le MGA du Transporteur combine une stratégie de
7 maintenance et une stratégie de pérennité pour poser le meilleur geste au moment
8 opportun.

4.2.1 Stratégie pour les systèmes non-réparables

9 Pour les actifs non-réparables, la seule solution est une supervision par de la maintenance
10 systématique jusqu'au remplacement. Pour prévenir l'impact, on cherche à effectuer le
11 remplacement avant la défaillance. Par contre, pour maximiser l'usage de l'actif, le
12 remplacement préventif doit être effectué le plus près possible de la défaillance (juste à
13 temps). Le coût du cycle de vie se résume à l'amortissement de l'investissement initial.

14 L'entretien systématique utilisé pour mieux connaître l'état réel de chaque actif permet
15 d'estimer de manière plus précise sa probabilité de défaillance. Rappelons que la probabilité
16 croît de manière exponentielle dans le temps. En conséquence, dans une stratégie basée
17 sur la gestion du risque, plus l'impact est important, plus le remplacement sera planifié tôt. À
18 l'inverse, certains actifs ont un impact de défaillance très faible ou à peine plus élevé que
19 l'impact du remplacement préventif. Par mesure d'efficacité d'intervention, la stratégie
20 adoptée pour de tels actifs est généralement d'utiliser des mesures de contingences comme
21 des pièces d'assurance et de retarder, si possible, le remplacement afin de le synchroniser
22 avec celui de l'appareil principal.

4.2.2 Stratégie pour les systèmes réparables

23 La stratégie pour les systèmes réparables est beaucoup plus complexe. La maintenance
24 conditionnelle et la maintenance corrective s'ajoutent à l'entretien systématique et aux
25 remplacements préventifs. Le coût du cycle de vie tient compte non seulement de
26 l'amortissement de l'investissement initial, mais aussi des dépenses annuelles en entretien.

27 Comme décrit au chapitre 2, pour la majorité de la vie d'un appareil, la maintenance
28 conditionnelle permet de maîtriser la fiabilité de manière beaucoup plus économique que le
29 remplacement préventif. Par contre, avec l'âge, la fiabilité baisse et les fréquences de
30 réparation augmentent. Il vient un temps où le remplacement est de toute évidence plus

1 avantageux, voire nécessaire, car l'acharnement à réparer un actif détournerait des
2 ressources qui seraient mieux utilisées, ou de façon plus profitable, ailleurs.

3 La stratégie pour les systèmes réparables est donc différente selon trois périodes distinctes
4 de la vie d'un actif : la période où le risque en maintenance est prépondérant, la période où
5 le risque en pérennité est prépondérant et entre les deux une certaine période de
6 chevauchement où les choix d'interventions nécessitent des études pour déterminer l'option
7 optimale. Ces trois périodes sont présentées à la figure 15.

8 Lors de la planification, le Transporteur établit les critères de conception et ses exigences
9 techniques en regard aux actifs (par exemple, redondance des protections, achat
10 d'équipement normalisé).

11 Pour la majorité de la durée de vie de l'actif, la stratégie de maintenance basée sur la
12 gestion du risque de maintenance établit les interventions d'entretien requises et leur priorité
13 et établira le niveau approprié de matériel d'assurance et les stratégies d'exploitation
14 pertinentes. Durant cette période, l'entretien systématique vise principalement à détecter les
15 défaillances partielles tandis que l'entretien conditionnel vise à assurer la performance et la
16 fiabilité de l'actif.

17 Vers la fin de sa durée de vie, alors que le taux de défaillance de l'actif commence à croître,
18 le Transporteur optimise selon les cas ses gestes d'entretien entre la maintenance
19 conditionnelle dont la conditionnelle ciblée et le remplacement en pérennité, compte tenu
20 des problématiques de chaque modèle d'appareils et du volume d'équipements touché.
21 Durant cette période, la bonne connaissance de l'état réel par la maintenance systématique
22 est particulièrement importante pour poser le meilleur geste.

23 Finalement, en fin de vie, le Transporteur procède au remplacement de ses actifs selon sa
24 stratégie de pérennité basée sur la gestion du risque en pérennité et avec les choix
25 technologiques qu'il a retenus. Durant cette période, l'entretien systématique vise
26 principalement à bien diagnostiquer l'espérance de vie restante.

4.2.3 La maintenance ciblée, une stratégie adaptée à l'état actuel du parc d'actifs

27 Le Transporteur souligne que l'analyse de ses travaux de maintenance passés démontre
28 qu'avec l'âge, les équipements nécessitent beaucoup plus d'heures de maintenance,
29 notamment à cause de l'usure de l'actif et ce, particulièrement en deuxième moitié de vie
30 (voir la figure 2).

31 La zone d'optimisation décrite à la figure 15 est désormais atteinte pour une grande portion
32 d'actifs du Transporteur (voir la figure 3), particulièrement dans les postes de transport.
33 C'est sur la base de ces constats que le Transporteur a incorporé dans son MGA des
34 interventions de maintenance conditionnelle ciblée qui sont particulièrement adaptées à

- 1 l'âge du parc en raison de l'usure de certains composants qui surviennent avant la fin de vie
2 de l'équipement lui-même.

4.2.4 Analyse de rentabilité des activités

3 Dans sa décision D-2016-029¹⁵ au paragraphe 40, la Régie demande au Transporteur de
4 faire état de la rentabilité économique des actions entreprises et envisagées par celui-ci.

5 Le Transporteur présente dans les sous-sections suivantes l'analyse de rentabilité de deux
6 initiatives.

4.2.4.1 Maintenance ciblée sur les disjoncteurs de modèle GFX

7 Sur les 188 disjoncteurs de modèle GFX en réseau au début de 2016, 178 (95 %) ont
8 dépassé la moitié de leur durée de vie de 30 ans. Les analyses montrent une dégradation
9 des joints statiques et dynamiques de la commande principalement causée par le temps, les
10 variations de température et le niveau de compression. La dégradation des garnitures
11 occasionne des fuites hydrauliques¹⁶ et ultimement, engendre l'incapacité du système à
12 monter en pression, provoquant un déclenchement du disjoncteur et un verrouillage dans
13 cet état. L'avis du fabricant est que : « selon [son] expérience, cette dégradation aboutira
14 assurément à la rupture et à l'extrusion des joints avant que l'appareil n'atteigne 30 ans de
15 vie ».

16 Considérons le cas d'un disjoncteur de modèle GFX à 735 kV âgé de 20 ans, ayant une
17 dégradation moyenne pour son âge et une durée de vie attendue de 30 ans. Deux
18 approches sont possibles pour assurer sa fiabilité de ce disjoncteur :

- 19 1) Remplacer prématurément le disjoncteur à 20 ans pour un coût estimé de 2,5 M\$.
20 Des frais de radiation sont à prévoir car il reste 10 années d'amortissement à
21 l'actif ;
- 22 2) Effectuer une maintenance conditionnelle ciblée sur la commande hydraulique à
23 20 ans pour un coût estimé de 350 k\$. Le remplacement de l'appareil serait alors
24 effectué dans 10 à 20 ans selon son état, pour un coût estimé de 2,5 M\$ en dollars
25 constants.

26 En coût annuel sur le cycle de vie, la première approche correspond à 125 k\$ par année
27 (2,5 M\$ / 20 ans) tandis que la maintenance conditionnelle ciblée correspond à 95 k\$ par
28 année (2,5 M\$ + 350 k\$ / 30 ans). La deuxième approche est la plus rentable¹⁷.

¹⁵ Dossier R-3934-2015 (demande tarifaire pour l'année 2016), paragraphe 113.

¹⁶ Près de 50 % des disjoncteurs de plus de 20 ans ont dû être réparés en raison de fuites d'huile de commande en 2012.

¹⁷ Toute chose étant également par ailleurs.

1 Notons que, pour la période de 20 à 30 ans d'âge, même en doublant les CNE dédiées à la
2 maintenance dans la deuxième approche par rapport à l'appareil neuf dans la première
3 approche, l'analyse économique demeure favorable à la deuxième approche.

4.2.4.2 *Maintenance ciblée des fondations de pylônes*

4 Les fondations de pylônes en acier à grille ou à treillis situées en milieu corrosif et humide
5 corrodent prématurément près de la surface du sol en raison de la présence combinée
6 d'oxygène et d'humidité. Une corrosion excessive et prématurée diminue la capacité
7 portante de l'embase et des membrures affectées. Le pylône pourrait s'effondrer sous des
8 conditions climatiques défavorables.

9 Un projet de recherche de l'IREQ a permis de développer un modèle prédictif de
10 dégradation qui permet de cibler l'inspection des fondations à risque. Lorsqu'une corrosion
11 excessive est constatée, la réparation peut être effectuée de manière préventive par l'ajout
12 de renforts d'acier.

13 Considérons le cas d'un pylône à 735 kV âgé de 50 ans, ayant une dégradation moyenne
14 pour son âge à l'exception d'une embase corrodée et une durée de vie attendue de 85 ans.
15 Deux approches sont possibles pour assurer sa fiabilité :

- 16 1) Remplacer prématurément le pylône à 50 ans pour un coût estimé de l'ordre d'au
17 moins 1 M\$.
- 18 2) Effectuer une maintenance conditionnelle ciblée sur l'embase corrodée pour un
19 coût estimé de 25 k\$. Le remplacement du pylône serait alors effectué dans 35 ans
20 selon son état, pour un coût estimé de 1 M\$ en dollars constants.

21 En coût annuel sur le cycle de vie, la première approche correspond à 20 k\$ par année
22 (1 M\$ / 50 ans) tandis que la maintenance conditionnelle ciblée correspond à 12 k\$ par
23 année (1 M\$ + 25 k\$ / 85 ans). La deuxième approche est de loin la plus rentable¹⁸.

4.3 **Regroupement d'interventions par installation**

24 Le Transporteur indique que les interventions sont fréquemment réalisées sur plusieurs
25 actifs d'une même installation et parfois d'un même emplacement d'exploitation. Par mesure
26 d'efficacité, le Transporteur a adopté une planification centralisée qui vise à synchroniser et
27 regrouper ses interventions de maintenance et également ses remplacements d'actifs. Le
28 regroupement d'interventions procure de nombreux avantages, notamment:

- 29 • Une réduction du nombre de retraits planifiés ;
- 30 • Une meilleure gestion des zones de travail sécurisées ;

¹⁸ Toute chose étant également par ailleurs.

- 1 • Une réduction des frais administratifs (ex : planification de travaux, gestion de
2 projets, gestion de chantiers, appel d'offres) ;
- 3 • Une gestion simplifiée des versions de dessins d'ingénierie et de la mise à jour des
4 inventaires ;
- 5 • Une diminution des temps improductifs (temps de transport, mobilisation
6 d'entrepreneurs).

7 En investissement, le regroupement d'interventions dans une installation est parfois requis
8 par les changements technologiques et permet parfois une mise aux normes mieux
9 ordonnée.

10 Le Transporteur note cependant que sa recherche de l'intervention optimale va au-delà de
11 l'actif individuel ou de l'installation. Il s'étend à l'ensemble du parc. En effet, compte tenu du
12 faible volume d'actifs dans certaines familles problématiques par exemple, bien que la
13 maintenance conditionnelle ciblée peut apparaître comme le meilleur choix d'intervention
14 pour résoudre la problématique, le remplacement pourrait s'avérer le choix le plus rentable
15 lorsqu'on considère l'ensemble du parc.

4.4 Description du Modèle de gestion des actifs

4.4.1 But et prérequis du modèle

16 Le MGA du Transporteur a pour but de produire le plan d'investissements sur 10 ans, de se
17 doter d'une vision à plus long terme des investissements sur 50 ans, ainsi que de fournir les
18 orientations en maintenance à réaliser qui servent à leur tour d'intrants au cadre financier et
19 au plan de main-d'œuvre. Le MGA priorise et équilibre les besoins d'interventions pour
20 atteindre les objectifs stratégiques du Transporteur et quantifie les ressources requises en
21 coûts, en heures de main-d'œuvre, tout en distinguant les charges des investissements.

22 Pour accomplir ce but, il est nécessaire de déterminer les stratégies d'interventions par
23 famille qu'il pourra appliquer à chaque actif par modélisation :

- 24 • évaluer le niveau de risque lié à l'état actuel de l'actif ;
- 25 • modéliser dans le temps l'évolution du risque selon les différentes stratégies
26 d'intervention envisagées ;
- 27 • connaître et modéliser les ressources requises pour chaque type d'intervention ;
- 28 • connaître et modéliser l'effet de chaque type d'intervention sur le risque et sur la
29 fiabilité ;
- 30 • prendre en compte l'ensemble de la durée de vie de l'actif.

1 Il faut ensuite être en mesure d'analyser l'effet d'ensemble du parc d'actifs et s'assurer plus
2 particulièrement de :

- 3 • établir l'ordre de priorité des interventions ;
- 4 • maîtriser l'évolution du risque à long terme sur l'ensemble du parc ;
- 5 • prévenir efficacement le plus grand nombre d'événements possible ;
- 6 • minimiser l'impact sur les revenus requis en favorisant les meilleurs choix
7 économiques pour l'ensemble des actifs ;
- 8 • minimiser les changements soudains et importants des budgets annuels par une
9 bonne connaissance de l'état réel de l'ensemble des actifs et une prévision efficace
10 de l'évolution à long terme de cet état pour l'ensemble du parc ;
- 11 • induire une utilisation efficace des ressources humaines, par :
 - 12 ◦ des effectifs à pied d'œuvre sur des travaux prioritaires ;
 - 13 ◦ une planification centralisée et intégrée ;
 - 14 ◦ un ordonnancement amélioré des travaux pour l'ensemble des ressources.

15 Le MGA combine donc plusieurs stratégies appuyées par plusieurs modèles, dont entre
16 autres :

- 17 • la stratégie de pérennité basée sur une gestion du risque de pérennité associé au
18 vieillissement des actifs ;
- 19 • la stratégie de maintenance basée sur une gestion du risque de maintenance
20 associé à la dégradation des composants ;
- 21 • les projections de besoins en croissance des besoins de la clientèle, maintien et
22 amélioration de la qualité du service et en respect des exigences ;
- 23 • la stratégie d'acquisition de matériel stratégique ;
- 24 • l'évolution technologique, notamment des systèmes d'automatismes ;
- 25 • le modèle de capacité financière et d'impact sur les revenus requis ;
- 26 • le modèle de capacité de main-d'œuvre.

4.4.2 Contenu et cohérence du modèle

27 Le MGA assure une cohérence transversale et verticale dans la gestion des actifs qui est
28 reflétée dans la figure 15 par les informations ajoutées sous la courbe.

- 29 • Cohérence transversale car il permet une vue sur l'ensemble du cycle de vie à
30 partir des critères de conception de l'installation et des actifs, au choix de

1 technologie, à l'acquisition, la construction, l'exploitation, le remplacement puis
2 éventuellement la mise hors service.

- 3 • Cohérence verticale car les résultats peuvent servir autant au niveau stratégique
4 qu'au niveau opérationnel. En effet, le découpage des résultats par grandes
5 familles d'actifs et par catégories d'investissement (maintien des actifs, croissance
6 des besoins de la clientèle, amélioration et maintien de la qualité du service et
7 respect des exigences) peut être utilisé comme intrant au plan stratégique, alors
8 que le découpage par risque, par ressources et par actif permet une utilisation
9 comme intrant aux orientations de planification tout en offrant un niveau de détails
10 suffisant pour permettre de comparer ces mêmes résultats avec le suivi de la
11 planification, de l'ordonnancement et de l'exécution des interventions et des projets.

4.4.3 Description sommaire des modèles et outils composant le MGA

12 Le tableau suivant présente les modèles et outils qui composent le MGA.

Tableau 1
Modèles et outils qui composent le MGA

Inventaire	Évolution des actifs	Simulateur	Contraintes	Validations et ajustements
Inventaire des actifs	Modèle de risque	Arbres d'expertise décisionnelle	Modèle de capacité financière	Intrants non-simulés
Registre des immobilisations	Indicateurs d'état	Simulateur Monte-Carlo	Modèle de capacité de main d'œuvre	Validations des résultats
	Modèle de ressources		Ajustement selon le scénario	

13 Dans les sections suivantes, le Transporteur détaille les divers intrants, le processus de
14 simulations et les extrants du simulateur.

4.4.4 Intrants aux simulations

4.4.4.1 Inventaire

15 L'inventaire des actifs (actuels et historiques) et leur emplacement d'exploitation (actuel et
16 historique) constituent un intrant aux simulations. Ils comprennent :

- 17 • Les caractéristiques évolutives des actifs ayant un impact sur la dégradation et le
18 vieillissement : âge, probabilité de défaillance, historique des interventions (ordres
19 de travail, avis de maintenance), probabilité de défaillance partielle ou complète.

- 1 • Les caractéristiques fixes ayant un impact sur les critères décisionnels :
2 technologie, fabricant et modèles, caractéristiques techniques (ex : tension ou
3 puissance).

4.4.4.2 *Modèle d'évolution du risque en maintenance et en pérennité*

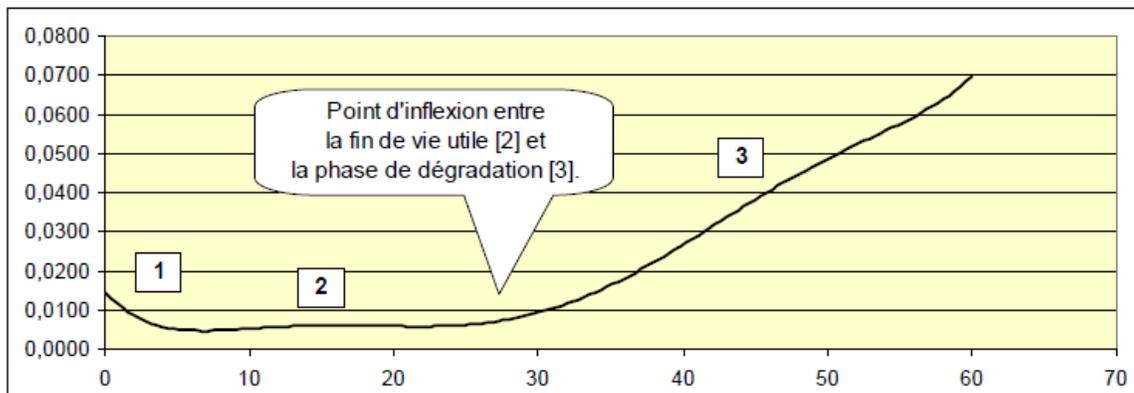
4 Ce modèle sert à calculer pour chaque actif son risque en maintenance et son risque en
5 pérennité. Il calcule donc la cote d'impact et la cote de probabilité de chaque actif.

6 Le Transporteur indique qu'il déduit les modèles de vieillissement, appelés courbes du taux
7 de défaillance (mortalité), à l'aide des résultats historiques validés comme expliqué dans le
8 dossier R-3670-2008¹⁹.

9 Ces courbes (voir figure ci-dessous), souvent appelées dans l'industrie « courbes en forme
10 de baignoire », permettent de visualiser le taux de défaillance attendu d'une population
11 d'actifs. On y distingue trois grandes phases d'évolution :

- 12 • une phase infantile (1) où les défaillances « de jeunesse » sont plus nombreuses
13 sur une courte période ;
14 • une phase dite « de vie utile » (2) où le taux de défaillance est faible et relativement
15 constant ;
16 • une phase finale (3) où les dégradations entraînent un taux de défaillance sans
17 cesse croissant.

Figure 16
Courbe du taux de défaillance (en baignoire) en fonction des années



18 Ce modèle sert à générer la grille de risque en pérennité présentée annuellement à la Régie
19 pour l'ensemble des actifs de postes et de lignes aériennes.

¹⁹ Budget d'investissement pour l'année 2009, pièce HQT-2, Document 1, pages 71-74.

- 1 Les modèles de vieillissement servent aussi d'intrants au simulateur pour faire évoluer les
- 2 cotes de risque.
- 3 Les modèles de dégradation pour simuler l'apparition de défaillances partielles ou
- 4 complètes sont également élaborés avec des résultats historiques validés selon des
- 5 modèles statistiques, ceux-ci sont étroitement liés avec la courbe du taux de défaillance.

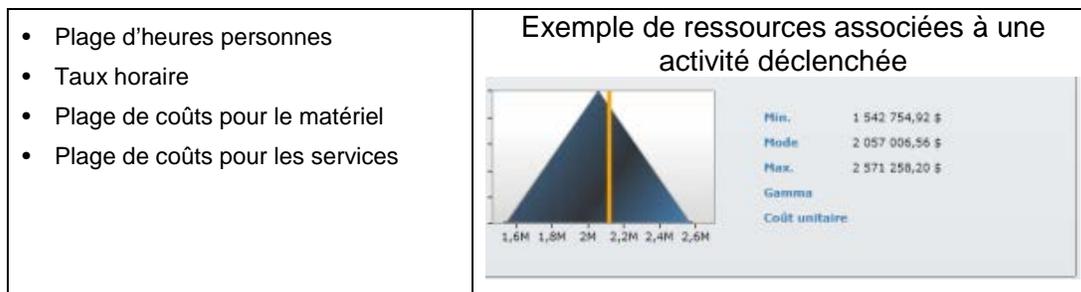
4.4.4.3 Indicateurs d'état (IÉTI, IÉDI, IÉUM)

- 6 Ces outils permettent de hausser la précision de l'évaluation de l'état (de la probabilité) des
- 7 actifs des familles transformateurs et inductances (IÉTI), disjoncteurs (IÉDI) et
- 8 transformateurs de mesure (IÉUM) en utilisant des critères autres que l'âge comme le
- 9 nombre d'opérations pour ce qui est des disjoncteurs.

4.4.4.4 Modèles de ressources associées aux interventions

- 10 Ces outils et modèles rassemblent les informations concernant les ressources requises pour
- 11 chaque intervention, déduites des normes et procédures d'entretien, basées directement sur
- 12 les coûts historiques ou provenant d'estimations paramétriques déduites de ces coûts
- 13 historiques.
- 14 Le Transporteur a défini pour chaque activité par type d'actif, les modèles de ressources
- 15 utilisées dans le simulateur :

Figure 17
Modèles de ressources

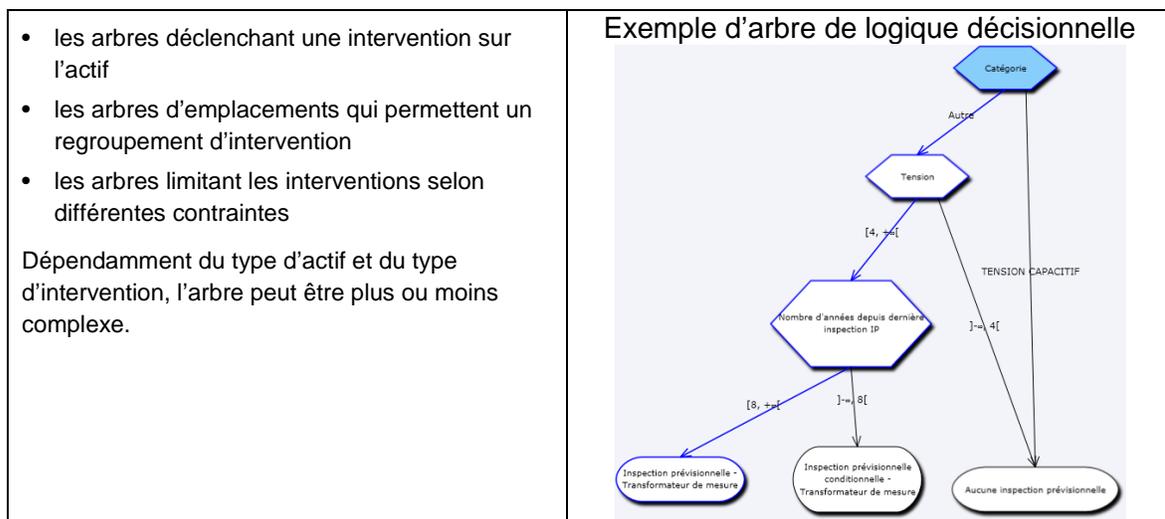


- 16 Il est à noter que les coûts estimés sont des coûts directs liés aux interventions. Le
- 17 Transporteur ne modélise pas les coûts indirects liés aux défaillances complètes des
- 18 équipements (perte de productivité, dérangement de la planification, potentiel de 2^e
- 19 contingence avec un impact client (panne ou coupure de transaction)). Du coup, les valeurs
- 20 monétaires des scénarios sont généralement sous-estimées et, plus le niveau de
- 21 défaillances complètes est élevé dans un scénario, plus cette sous-estimation est
- 22 importante.

4.4.5 Arbres décisionnels

- 1 Les équipes techniques du Transporteur ont reproduit avec les arbres de logique
- 2 décisionnelle les stratégies, les normes et les orientations par famille d'actifs qui servent à
- 3 déclencher une intervention dans le simulateur. Ces arbres reflètent les logiques
- 4 décisionnelles du Transporteur tout en prenant en compte ses analyses coûts / bénéfiques,
- 5 ses engagements et ses bonnes pratiques.
- 6 Il y a plusieurs types d'arbres décisionnels utilisés par le simulateur.

Figure 18
Types d'arbres décisionnels



4.4.5.1 Facteurs qui influencent la stratégie par famille d'actifs

- 7 En annexe 2 se trouve une description générale des différentes familles d'actifs qui
- 8 composent le réseau de transport, leurs fonctions ainsi que quelques enjeux de
- 9 maintenance.
- 10 Outre leur âge, plusieurs facteurs influencent la stratégie d'intervention propre à chaque
- 11 famille et à chaque modèle d'actif, dont :
- 12 1) Vitesse de dégradation : ce facteur détermine les fréquences d'inspection requises
- 13 en entretien systématique.
- 14 2) Réparable : ce facteur indique dans quelle mesure les composants des actifs de
- 15 cette famille peuvent être réparés ou remplacés. « partiellement » signifie qu'une
- 16 partie seulement des composants est réparable.

- 1 3) Coût de remplacement : le coût de remplacement indique la valeur de l'actif et plus
2 la valeur d'un actif est élevée, plus les interventions en maintenance préventive
3 permettant d'en assurer la fiabilité sont attrayantes.
- 4 4) Délai de remplacement en urgence : ce facteur permet d'illustrer la durée
5 d'indisponibilité attendue en cas de défaillance non-réparable. Plus le délai de
6 remplacement est important, plus l'IF sera longue. Ceci augmente l'importance
7 d'agir de manière préventive en pérennité pour que le remplacement ait lieu en
8 période de faible utilisation du réseau.
- 9 5) Impact sur la sécurité : pour certaines technologies, les fréquences d'entretien
10 systématiques sont dictées directement par des considérations de sécurité plutôt
11 que par la vitesse de détérioration. Ce facteur est également pris en compte dans
12 l'évaluation de l'impact en pérennité.

4.4.6 Simulation de l'effet des stratégies d'intervention

13 Le simulateur permet de simuler le vieillissement d'un parc d'actifs de plus d'un million
14 d'appareils, de déclencher des activités (charges ou investissements) en fonction de plus de
15 200 arbres décisionnels, et d'en déduire les coûts requis ainsi que la fiabilité et le niveau de
16 risque résultants.

17 Le simulateur utilise la technique de Monté Carlo (probabiliste) pour déclencher des actions
18 en fonction des arbres décisionnels mais aussi dans le choix des ressources associées à
19 l'action déclenchée (plus de 10 000 modèles de coûts).

20 Le simulateur passe chaque actif dans chaque arbre décisionnel annuellement et détermine
21 la ou les actions nécessaires (aucune action étant aussi une possibilité). En ce faisant, il
22 détermine les ressources associées et fait évoluer dans le temps les caractéristiques
23 évolutives.

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

29 Compte tenu de la taille du parc d'actifs, il serait impossible d'effectuer cet exercice sans un
30 outil de modélisation puissant.

4.4.7 Modèle financier et modèle de main-d'œuvre

1 Ces modèles servent à :

- 2 • établir les contraintes sur le rythme annuel d'évolution de ressources qui doivent
- 3 être prises en compte dans les simulations, par exemple en limitant l'accroissement
- 4 des investissements en raison d'un rythme d'embauches réaliste ;
- 5 • fournir les résultats complémentaires qui permettront, à l'étape de validation, de
- 6 prendre en compte les aspects qui ne sont pas couverts par le simulateur, par
- 7 exemple, les prévisions de besoins en croissance.

4.4.8 Ajustements pour intrants non-simulés

8 Le simulateur prend en compte le parc existant, les familles d'actifs simulées sont celles
9 pour lesquelles le Transporteur avait les intrants nécessaires et pour lesquelles le volume
10 d'actifs était significatif pour développer des modèles d'évolution en fonction du temps.

11 Pour avoir un portrait global, le Transporteur tient compte des actifs non simulés à ce jour,
12 soit les emprises, les lignes souterraines et l'appareillage mécanique et civil.

13 Pour le volet charges de maintenance, il considère aussi les autres activités réalisées aux
14 niveaux des emplacements (inspections de postes, visites aériennes, etc.), de la logistique
15 et du transport.

16 Finalement, il est nécessaire de valider les résultats de simulation en les comparant avec
17 d'autres résultats simulés ou aux valeurs réelles historiques.

5 Analyse « coûts / bénéfiques » des scénarios étudiés

1 Cette section, a pour but de répondre à la décision D-2016-029 dans laquelle la Régie
2 demande au Transporteur de lui présenter une preuve spécifique complète portant sur les
3 avantages comparatifs de sa stratégie axée sur la maintenance préventive et la pérennité
4 des actifs, selon différents rythmes de réalisation²⁰. Elle vise à démontrer le bien-fondé
5 d'une mise à niveau de la maintenance des équipements de son parc.

6 Le Transporteur présente les scénarios retenus pour les fins de cette démonstration, les
7 critères d'analyse utilisés pour comparer les scénarios, puis l'analyse des résultats qui a
8 mené au choix de l'approche retenue.

5.1 Description des scénarios étudiés

9 Chaque année, le Transporteur analyse plusieurs scénarios combinant divers niveaux de
10 remplacements en pérennité et de maintenance préventive afin d'identifier le niveau
11 d'intervention qui permet de maintenir la sécurité, la fiabilité et la disponibilité du réseau au
12 moindre coût. Au nombre de ces scénarios, le Transporteur a retenu les quatre scénarios
13 les plus pertinents dans le cadre de la présente démonstration de rentabilité.

14 Le tableau ci-dessous présente un sommaire des quatre scénarios retenus dans le cadre de
15 la présente analyse, et leurs approches respectives en volume de remplacements pour
16 assurer la pérennité des actifs, et en volume d'interventions en maintenance.

²⁰ Dossier R-3934-2015 (demande tarifaire pour l'année 2016), paragraphe 113.

**Tableau 2
Tableau résumé des scénarios**

Scénarios	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D
	Situation actuelle	Maintien de l'âge	Accroître la pérennité	Maintenance adaptée
Investissements en pérennité	Équivalent de la stratégie de pérennité reconnue en 2008	Accroître les investissements pour maintenir l'âge	Accroître la pérennité jusqu'à 50 % de plus que la stratégie de 2008	Équivalent de la stratégie de pérennité reconnue en 2008
CNE dédiées à la maintenance	Niveau basé sur les limites de ressources utilisées pour la mise en œuvre des interventions selon le budget autorisé par la Régie pour l'année 2016	Accroître la maintenance pour maintenir la fiabilité	Accroissement jusqu'à 50 % de la maintenance préventive	Maintenance nécessaire pour contrôler l'évolution des risques en pérennité et en maintenance de manière diligente et prudente
Observations et hypothèses	Scénario permettant d'observer le niveau de risque auquel s'expose le Transporteur si le rythme actuel de maintenance est conservé	Scénario le plus coûteux causant un impact considérable sur les revenus requis. Pour qu'il demeure réaliste, la hausse des ressources est limitée à 10 % par année. Ce scénario permet de déterminer le seuil supérieur des besoins de ressources.	Scénario permettant d'apprécier l'impact d'une alternative d'accroissement de la pérennité afin de maintenir la fiabilité et la disponibilité du réseau. Bien que réalisable, il ne permet pas de satisfaire à court terme les objectifs de fiabilité et de sécurité.	Scénario retenu. Pour qu'il demeure réaliste, la hausse des ressources est limitée en pérennité à 5 % par année ²¹ , et en maintenance à 2 % par année après la première année.

²¹ Comme prévu dans la stratégie de pérennité en 2008 (R-3670-2008, HQT-2, Document 1)

5.2 Méthodologie et critères d'analyse

1 Au-delà des coûts, le Transporteur se doit d'analyser ses scénarios en privilégiant la
2 sécurité, la fiabilité et la disponibilité du réseau. Or, le Transporteur rappelle que, compte
3 tenu de la complexité de son réseau et des divers enjeux de risque, la démonstration de
4 rentabilité économique à l'aide de la valeur actuelle nette (« VAN ») ne saurait être
5 complète compte tenu de la non-valorisation monétaire de certains paramètres de risque
6 de son modèle.

7 Le Transporteur a donc eu recours à la méthodologie recommandée par le CIRANO en
8 2008 pour l'analyse « coûts / bénéfiques » de la stratégie de pérennité²². L'analyse
9 comparative des scénarios est donc basée sur un équilibre entre les coûts et le risque.

10 Compte tenu de la responsabilité du Transporteur d'assurer une saine gestion de ses
11 actifs tant pour la génération actuelle que future, et compte tenu de l'évolution lente de
12 certains paramètres de risque due au fort volume et à la durée de vie des actifs
13 concernés, l'analyse est faite sur deux horizons de temps, soit 10 ans et 50 ans. À l'instar
14 de 2008, le Transporteur s'assure ainsi que les gains perceptibles à moyen terme
15 demeurent présents à long terme.

16 Les sections suivantes présentent un résumé de la méthodologie proposée par le
17 CIRANO et les critères retenus pour fins d'analyse.

5.2.1 Méthodologie d'analyse « coûts / bénéfiques »

18 Selon l'approche recommandée par le CIRANO en 2008, le Transporteur utilise, comme
19 mesure du rendement de ses scénarios par rapport aux risques, le pourcentage du risque
20 cumulé éliminé par un scénario étudié par rapport à un scénario de référence sur un
21 horizon de temps visé.

22 Toujours à la suggestion du CIRANO, le volet « coûts » est quant à lui évalué en termes
23 de rendement comparé des coûts des scénarios. Pour chaque scénario, la somme des
24 coûts en dollars constants sera comparée à la somme des coûts du scénario de
25 référence sur un horizon de temps donné.

26 Cependant, compte tenu de la situation en 2016, où le Transporteur justifie le bien-fondé
27 d'une mise à niveau des CNE dédiées à la maintenance par rapport à une situation de
28 référence, soit le budget autorisé par la Régie pour l'année 2016, il ne fera pas une
29 comparaison par rapport au pire risque ou encore au coût le plus élevé. Sa référence
30 sera donc le budget autorisé en 2016 pour ce qui est des CNE. Dans ce contexte, il est

²² Dossier R-3670-2008 (Budget d'investissement pour l'année 2009), HQT-2 document 1, page 97

1 normal que les situations où le Transporteur accroît les coûts donnent lieu à des
2 rendements de coût négatif.

3 L'objectif de l'analyse « coûts / bénéfiques » est de retenir le scénario qui apporte le plus
4 de gains en terme de réduction des risques au moindre coût.

5.2.2 Critères d'analyses

5 Le Transporteur se base sur une multitude de paramètres pour analyser les scénarios.
6 Pour les fins de la présente analyse comparative des scénarios, le Transporteur retient
7 les critères d'analyse ayant trait, d'une part, aux risques de pérennité (vieillesse) et
8 de maintenance (dégradation) et d'autre part, à l'impact sur les revenus requis.

5.2.2.1 Critères mesurant les bénéfiques en termes de gestion des risques

9 Le Transporteur vise à prévenir les défaillances complètes d'actifs provoquées par la
10 dégradation et par le vieillissement de ses actifs. Comme mentionné à la section 4.1.1, le
11 Transporteur mesure la dégradation des composants des actifs par le risque en
12 maintenance. Comme mentionné à la section 4.1.2, le Transporteur mesure le
13 vieillissement du parc par le risque en pérennité.

5.2.2.2 Critères mesurant les coûts

14 Le Transporteur compare ses résultats sur le critère de coût :

- 15 • Coût de remplacement en pérennité : l'objectif est de rester en contrôle et de
16 contenir les fluctuations des coûts de remplacement en pérennité ;
- 17 • Coûts de la maintenance : l'objectif est de rester en contrôle et de contenir les
18 fluctuations des coûts de maintenance ;
- 19 • Impact sur les revenus requis : l'objectif est de minimiser l'impact sur les revenus
20 requis annuel et contenir les fluctuations importantes.

21 Compte tenu du mode de récupération des coûts du Transporteur, il est normalement
22 nécessaire de traduire ce signal en revenus requis pour pouvoir apprécier pleinement
23 l'impact pour les clients de ces différentes approches d'intervention.

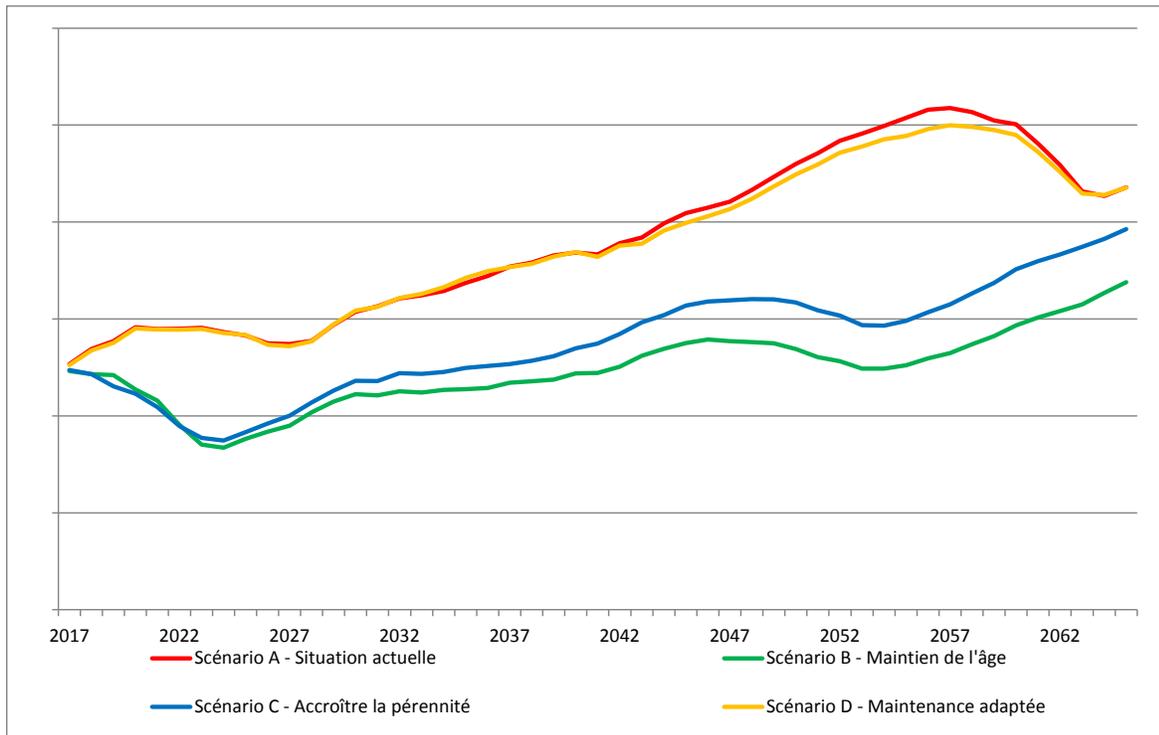
5.3 Analyse comparative des divers scénarios étudiés

- 1 Dans cette section, le Transporteur présente l'analyse comparative des quatre scénarios
- 2 pertinents retenus pour les fins de la présente preuve.

5.3.1 Risque de pérennité (Vieillesse)

- 3 Les résultats présentés à la figure 19 mettent en évidence le fait que les scénarios
- 4 « situation actuelle » et « maintenance adaptée » induisent une hausse contrôlée du
- 5 risque en pérennité. Les autres scénarios permettent de réduire le risque en pérennité
- 6 associé au vieillissement. L'augmentation observée pour les années postérieures à 2030
- 7 est grandement attribuable au vieillissement graduel des lignes aériennes en acier.

Figure 19
Graphique d'évolution du taux de risque en pérennité



5.3.2 Risque de maintenance (dégradation)

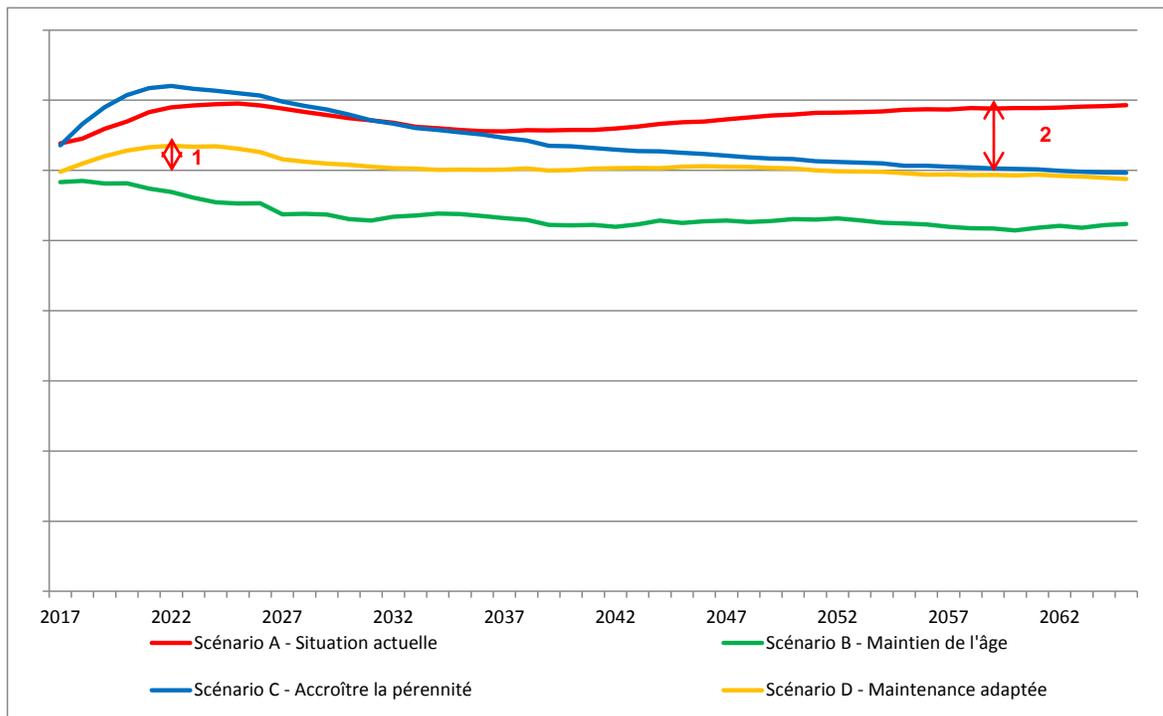
- 8 Pour ce qui est du risque de maintenance, les résultats présentés à la figure 20 mettent
- 9 en évidence l'effet important de la maintenance préventive pour contrôler les effets de la
- 10 dégradation malgré le vieillissement du parc. Le scénario B qui vise à maintenir l'âge
- 11 réduit aussi le niveau d'exposition au risque de maintenance. Le scénario D quant à lui
- 12 démontre l'avantage de mettre à niveau la maintenance des équipements. En effet, en

1 adaptant le niveau de maintenance à l'âge du parc, le Transporteur devra gérer une part
 2 significative de l'évolution du risque en maintenance pour une période d'environ 10 ans
 3 (indice 1 sur le graphique). Après cette période, le risque de maintenance reviendrait,
 4 selon les simulations, à peu près au niveau actuel, contrairement au scénario A qui
 5 impose une hausse de ce risque significativement plus importante et une stabilisation à
 6 un niveau supérieur au niveau actuel (indice 2 sur le graphique). Maintenir un rythme
 7 équivalent au budget autorisé en 2016 (scénario A) équivaut à un déficit d'entretien qui
 8 met à risque la mission du Transporteur.

9 Le résultat graphique démontre aussi le faible effet d'un accroissement de la pérennité
 10 (scénario C) sur ce risque compte tenu de l'âge déjà atteint par le parc et du fait que la
 11 dégradation n'affecte pas que les vieux équipements. Seule une maintenance préventive
 12 adéquate permettra de limiter l'évolution du risque en maintenance et du coup, contrôler
 13 la dégradation et la dégénération en défaillances complètes (indisponibilités forcées)
 14 affectant la fiabilité, la disponibilité et la sécurité du réseau.

15 Comme mentionné à la section 3.4, une hausse continue des IF est préoccupante et
 16 affecte la maintenabilité. Le Transporteur vise donc à gérer le risque de maintenance, qui
 17 est fortement corrélé à l'évolution des IF, de façon à ce que cette évolution future soit
 18 minimisée, et tende à se stabiliser à la valeur actuelle ou, idéalement, sous celle-ci.

Figure 20
Graphique d'évolution du risque en maintenance



5.3.3 Effet sur les revenus requis

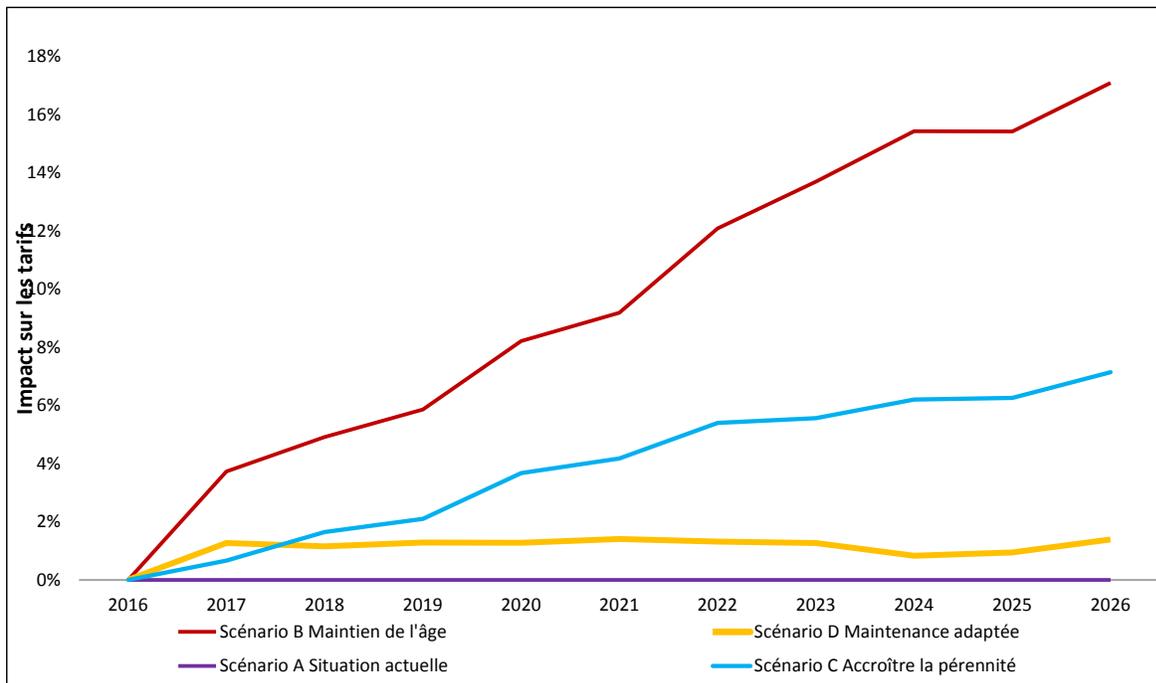
1 La figure 21 montre l'effet sur les revenus requis des divers scénarios étudiés (combinant
2 leur volet « pérennité » nécessitant des investissements et leur volet « Maintenance »
3 touchant les CNE), en termes de proportion du revenus requis actuel 2016, pour les dix
4 prochaines années. Le Transporteur rappelle :

- 5 1) qu'il s'agit de l'impact à la marge sur les revenus requis ;
- 6 2) que la tendance se poursuivra telle qu'indiquée compte tenu de l'effet récurrent
7 des besoins en maintenance et de l'effet composé des investissements sur les
8 revenus requis.

9 La figure 21 illustre clairement qu'une approche favorisant les interventions aux
10 investissements (dit de pérennité) a un effet cumulatif sur les revenus requis qui s'accroît,
11 comparativement à l'effet ponctuel des interventions non capitalisables de maintenance.

12 Les scénarios de gestion des actifs exerçant une pression importante sur les revenus
13 requis sont considérés comme moins favorables que les autres.

Figure 21
Évolution de l'impact à la marge sur les revenus requis



5.3.4 Analyse des avantages comparatifs selon différents rythmes de réalisation

- 1 Au regard du résultat de l'analyse comparative tant au niveau des risques de pérennité et
2 de maintenance, ainsi que de l'impact à la marge sur les revenus requis, il ressort
3 clairement que le scénario D est à privilégier. En effet, ce scénario qui prévoit un
4 accroissement de la maintenance à partir de l'année 2017, combinée à un rythme de
5 pérennité conforme à la stratégie de pérennité, permet de contrôler l'évolution du risque
6 de pérennité et de maintenance à des coûts raisonnables, lorsque comparé à la situation
7 actuelle en 2016 (scénario A).
- 8 Le tableau suivant présente le sommaire de l'analyse comparative des scénarios sur
9 10 ans et sur 50 ans.
- 10 Les scénarios B et C, qui préconisent un accroissement des investissements en
11 pérennité, permettent une réduction considérable du risque en pérennité mais à un coût
12 qui affecte substantiellement les revenus requis.

Tableau 3
Sommaire de l'analyse comparative des scénarios

Scénarios	Scénario A Situation actuelle	Scénario B Maintien de l'âge	Scénario C Accroître la pérennité	Scénario D Maintenance adaptée
Risque lié au vieillissement 10 ans	Référence	-19%	-19%	-1%
Risque lié à la dégradation 10 ans	Référence	-16%	+3%	-8%
Risque lié au vieillissement 50 ans	Référence	-35%	-24%	-1%
Risque lié à la dégradation 50 ans	Référence	-21%	-5%	-10%
Fiabilité	(-) Hausse du risque de maintenance, qui ultimement affectera le risque de pérennité.	(+) Baisse remarquable des risques de pérennité et de maintenance.	(-) À court terme, le risque de maintenance croît considérablement.	(+) Baisse du risque de maintenance, et évolution du risque de pérennité tel que convenu. Scénario raisonnable pour limiter la croissance des indisponibilités forcées.
Impact à la marge sur les revenus requis 10 ans	Référence Équivalent de la situation en 2016. Le niveau de maintenance est inadéquat compte tenu de l'âge du parc.	+63% Scénario le plus coûteux avec des impacts considérables sur les revenus requis.	+25% Coût de pérennité élevé et à l'encontre de la stratégie de pérennité.	+7% Scénario prudent, minimisant l'impact à la marge sur les revenus requis.

Scénarios	Scénario A Situation actuelle	Scénario B Maintien de l'âge	Scénario C Accroître la pérennité	Scénario D Maintenance adaptée
Conclusion	Le statu quo n'est pas une option. La tendance à la hausse des indisponibilités forcées exige une mise à niveau de la maintenance compte tenu de l'âge et l'état actuel du parc.	Bien qu'il permette de maintenir la fiabilité du réseau, et par conséquent le niveau de service à la clientèle, ce scénario n'est pas responsable compte tenu de son impact sur les revenus requis.	L'accroissement partiel des investissements n'est pas une option. Le rythme de remplacement en pérennité n'est pas comparable au rythme d'intervention en maintenance. En conséquence, il n'est pas possible à court et moyen terme d'adresser autant d'équipements en pérennité comme le permettrait la maintenance.	Sur la base des informations dont il dispose à ce jour, le Transporteur estime que ce scénario est celui qui permet de contrôler l'évolution des risques de défaillances des équipements, de limiter la hausse des indisponibilités forcées de ses équipements, en connaissant davantage leur état afin de planifier et mettre en œuvre adéquatement son MGA. La mise à niveau de la maintenance est un impératif.

5.4 Approche retenue

1 Malgré les répercussions négatives de l'évolution à la hausse des IF associée à la
2 dégradation et au vieillissement de son parc d'actifs (voir section 3.3), le Transporteur
3 continue de prioriser la sécurité du public et des employés, la fiabilité et la disponibilité de
4 son réseau dans l'exercice de sa mission de base. Ce faisant, il privilégie le scénario qui
5 permet de contenir le risque qu'il vise à contrôler à un niveau acceptable en fonction de ses
6 orientations stratégiques et qui présente un impact limité sur les revenus requis.

7 Le Transporteur considère le niveau actuel de fiabilité comme étant sous contrôle, mais
8 préoccupant. Un scénario induisant une baisse significative de la fiabilité à long terme serait
9 insoutenable, il faut donc agir dès à présent.

10 Le Transporteur constate à la lumière des différents scénarios simulés basés sur le MGA
11 que :

12 1) plutôt qu'un maintien de l'âge du parc, qui aurait un impact majeur sur les revenus
13 requis, une hausse contrôlée de l'âge moyen s'avère nécessaire (REJET DU
14 SCÉNARIO « MAINTIEN DE L'ÂGE ») Il s'agit du même constat que celui présenté
15 en 2008 ;

16 2) la hausse contrôlée de l'âge moyen du parc à un effet sur la dégradation et sur le
17 vieillissement qui nécessite une maintenance accrue pour contrôler le risque et la
18 fiabilité ;

19 3) une hausse significative des investissements en maintien des actifs permettrait de
20 contrôler le vieillissement du parc (le risque en pérennité), sans toutefois résoudre
21 l'enjeu de la dégradation des composants des actifs (le risque en maintenance) qui
22 atteindrait un niveau préoccupant et se stabiliserait à un niveau significativement
23 plus élevé qu'actuellement, ayant ainsi un impact négatif sur la fiabilité jugé
24 insoutenable par le Transporteur (REJET DU SCÉNARIO « ACCROISSEMENT DE
25 LA PÉRENNITÉ ») ;

26 4) le budget de maintenance actuel est incompatible avec la hausse contrôlée de l'âge
27 moyen du parc car la dégradation des composants des actifs (le risque en
28 maintenance) atteindrait un niveau considérable et se stabiliserait à un niveau
29 significativement plus élevé que le niveau actuel, ayant ainsi un impact négatif sur
30 la fiabilité jugé insoutenable par le Transporteur (REJET DES SCÉNARIOS
31 « ATTENDRE LA DÉFAILLANCE » ET « SITUATION ACTUELLE ») ;

32 5) le scénario « MAINTENANCE ADAPTÉE » permet, en dépit de la hausse contrôlée
33 de l'âge moyen du parc, de limiter à long terme la dégradation du parc (risque en
34 maintenance) - et donc de maintenir la fiabilité à un niveau estimé comparable au
35 niveau actuel. Ce scénario implique par contre une période transitoire d'une dizaine

- 1 d'années où le risque en maintenance sera modérément plus élevé que le niveau
2 actuel, et dont les effets précis restent à mesurer, ce qui pourrait éventuellement
3 nécessiter un réajustement limité au cours des prochaines années ;
- 4 6) le scénario « MAINTENANCE ADAPTÉE » est jugé réalisable du point de vue
5 organisationnel, financier et technique, compte tenu des paramètres de simulation
6 qui limitent les accroissements de ressources à des niveaux réalisables.
- 7 7) le scénario « MAINTENANCE ADAPTÉE » a un impact à court terme sur les
8 revenus requis mais de moindre ampleur à long terme que les autres scénarios.

5.5 Détermination des besoins additionnels requis

9 Pour quantifier les besoins additionnels requis par rapport aux ressources actuellement
10 disponibles, le Transporteur a utilisé l'écart entre les ressources requises pour l'approche
11 retenue, soit « maintenance adaptée » et les ressources prévues pour le scénario de
12 référence. Il rappelle qu'il a utilisé les ressources actuelles comme contraintes au scénario
13 « situation actuelle ».

14 Le Transporteur en déduit des besoins additionnels de 45 M\$ au budget des CNE qui, une
15 fois combinées aux ressources demandées, pourront être allouées à la mise en œuvre des
16 diverses interventions jugées nécessaires selon l'approche retenue.

6 Suivi

- 1 Dans une perspective d'amélioration continue, le Transporteur entend assurer un suivi de
- 2 l'efficacité du scénario retenu de gestion des actifs par le suivi annuel des IF. Il propose
- 3 d'introduire cet indicateur à la pièce HQT-3, Document 2 qui traite des indicateurs de
- 4 performance dès la prochaine demande tarifaire.

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

7 Conclusion

1 L'arrimage des stratégies de pérennité et de maintenance du Transporteur dans le MGA
2 vise l'amélioration significative des démarches distinctes utilisées antérieurement. La
3 transition d'un parc d'actifs jeunes à un parc d'actifs matures explique la nécessité de revoir
4 et d'adapter l'approche du Transporteur en matière de gestion des actifs. L'arrimage des
5 stratégies de pérennité et de maintenance apportent plusieurs avantages, notamment :

- 6 • la fiabilité du parc est assurée par une vision de la gestion des actifs sur l'ensemble
7 de leur durée d'exploitation et sur plusieurs générations. En tenant compte d'un
8 horizon aussi lointain que cinquante (50) ans, le Transporteur s'assure d'une
9 stratégie de gestion à long terme qui assure aux futurs utilisateurs l'héritage d'un
10 réseau « en santé » et de stratégies viables pour exploiter un réseau mature.»
- 11 • par un pronostic plus juste du comportement anticipé du parc par rapport aux
12 vieillissements des actifs, le Transporteur gère les niveaux de risques prévus et
13 privilégie une stratégie performante en regard des ressources (coûts et main-
14 d'œuvre) en évitant d'intervenir là où le risque ne le justifie pas.

15 Le MGA du Transporteur permet donc d'établir les investissements et les charges
16 d'entretien à effectuer à court terme, dans un cadre cohérent à long terme tout en assurant
17 la fiabilité, la disponibilité et la sécurité du réseau.

18 Le Transporteur estime, à la marge du scénario retenu et des ressources actuelles, les
19 besoins additionnels à 45 M\$ au budget des CNE en lien avec la gestion du parc d'actifs du
20 réseau pour lui permettre d'assurer sa mission de base. L'analyse des scénarios étudiés
21 démontre la rentabilité économique de l'approche privilégiée et sa supériorité selon les
22 critères décisionnels retenus. C'est pourquoi, il demande à la Régie d'autoriser cette
23 augmentation du budget des CNE.

24 Finalement, compte tenu que le parc d'actifs continuera de vieillir pour encore plusieurs
25 années et par souci de prudence, le Transporteur entend poursuivre le suivi de l'état et de la
26 performance de ses actifs pour ajuster si requis les seuils de performance attendue de son
27 MGA, et d'ajuster les niveaux de maintenance ou de remplacement en conséquence.

Annexes

Annexe 1 - Glossaire²³

- Actif :** équipement d'appareillage, ouvrage civil ou système d'automatismes d'une installation. Un actif est habituellement un bien immobilisable.
- Catégorie d'actif :** type de technologie (ex : SF6, pneumatique, numérique).
- Composant :** partie constitutive d'un actif. Un composant n'est habituellement pas un bien immobilisable.²⁴
- Contingence :** Perte de disponibilité d'un élément redondant. Dans un système à simple redondance, la perte de disponibilité simultanée de deux éléments en parallèle est appelée une double contingence et cette dernière entraîne une perte de disponibilité du système. Voir aussi redondance
- Disponibilité :** aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées. Également « en service », « en réseau » ou « sous-tension ».
- Défaillance :** cessation de l'aptitude d'un actif ou d'un composant à accomplir une fonction requise. La défaillance d'un composant est dite défaillance partielle. La défaillance est dite complète lorsqu'elle dégénère en perte de disponibilité de l'actif.
- Dégradation:** évolution de l'état réel d'un composant vers sa défaillance éventuelle. Lorsque l'état réel ne respecte plus l'état spécifié, il y a défaillance.
- Emplacement d'exploitation :** groupe d'actifs généralement composé d'un appareil principal et ses appareils connexes et dont le fonctionnement individuel combiné permet de remplir une fonction commune. Par exemple un emplacement de transformation peut contenir entre autres un transformateur de puissance, mais aussi des parafoudres, des transformateurs de mesure, des systèmes de protections, un automate de régulation de tension, une inductance de mise à la terre et un bassin de récupération d'huile.
- État spécifié :** ensemble des caractéristiques permettant à un actif d'accomplir des fonctions spécifiques. Les caractéristiques les plus courantes sont la durabilité, la fiabilité, la maintenabilité, la sécurité, l'efficacité.

²³ Hydro-Québec s'est doté en 1989 d'une «politique de maintenance des installations [...]». Cette politique énonce les principes sur lesquels s'est construite la stratégie de maintenance du Transporteur et contient un glossaire dont la terminologie de maintenance d'aujourd'hui est encore largement inspirée.

²⁴ En lignes aériennes, le terme composant est utilisé de manière usuelle pour représenter des actifs (conducteurs, pylône) immobilisables.

Événement : constatation d'une défaillance complète par l'exploitant lors d'une inspection, par une alarme (télésurveillance) ou par l'opération d'une protection (déclenchement).

Exploitabilité : aptitude d'un actif à être opéré et maintenu dans des conditions données d'utilisation pour lesquelles il a été conçu. La maintenabilité est une part de l'exploitabilité et concerne spécifiquement l'aptitude à être maintenu.

Fiabilité : aptitude d'un actif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminé. La défaillance résulte d'une perte de fiabilité.

Famille d'équipement : regroupement d'équipements de conception ou de gestion similaire.

Famille (classe) d'actifs qui ont la même fonctionnalité.

Maintenance : ensemble des actions exécutées dans le but de maintenir une installation ou un actif dans un état spécifié. Ces actions peuvent être préventives ou correctives. Bien que le terme soit générique, le Transporteur utilise le terme maintenance généralement seulement pour les actions aux charges nettes d'exploitation et préfère utiliser plutôt « gestion de pérennité » ou simplement « pérennité » pour distinguer les investissements en maintien des actifs.

Maintenance préventive : ensemble des actions d'entretien visant à maîtriser la dégradation pour prévenir la défaillance. La maintenance préventive peut être systématique ou conditionnelle.

systématique : ensemble des actions d'entretien visant à mesurer la dégradation et effectuée en fonction d'une périodicité établie selon le temps ou un nombre d'unités d'usage (heures de marche, nombre d'opérations, etc.). Elle inclut les inspections exigées par une réglementation externe (ex : normes du NPCC) ou par le fabricant.

conditionnelle²⁵ : ensemble des actions d'entretien subordonnée à une condition prédéterminée (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure de la dégradation, etc.) révélant l'état d'un équipement. Ces actions cherchent à prévenir ou ralentir la dégradation ou à réparer une défaillance partielle.

²⁵ une « réparation » peut faire référence à de la maintenance conditionnelle ou de la maintenance corrective selon qu'elle agit sur une défaillance partielle ou sur une défaillance complète.

Maintenance ciblée : action de maintenance aux charges nettes d'exploitation visant à remplacer, remettre à neuf ou réhabiliter un composant (une partie d'un actif).

Maintenance corrective : action de maintenance visant à remettre en état de fonctionnement un actif après l'occurrence d'une défaillance complète.

Prédicteur : variable prédictive dont les valeurs permettent de prédire celle de la variable critère, dans le domaine statistique.

Redondance : conception qui prémunit un système contre la perte d'un élément en ajoutant un ou plusieurs éléments similaires supplémentaires en parallèle avec le premier. Voir aussi contingence.

Réfection : Cette ancienne terminologie est désormais séparée en trois termes distincts plus précis, la maintenance ciblée, la réhabilitation et la remise à neuf.

Réhabilitation : action de maintenance aux investissements visant à prolonger la vie d'un actif d'une partie significative de sa durée de vie initiale.

Remise à neuf : action de maintenance aux investissements visant à redonner à un actif vieillissant une nouvelle durée de vie complète.

Remplacement : action de maintenance réalisée de manière préventive ou à la suite d'une défaillance et visant à substituer un élément répondant à l'état spécifié à un élément qui n'y répondait plus. Le remplacement d'un composant est une intervention généralement aux charges nettes d'exploitation et est généralement plutôt appelé une réparation, tandis que le remplacement de l'actif complet est généralement un investissement en maintien des actifs.

Réparation : la réparation vise à réduire une détérioration détectée de manière à ce que l'état réel respecte l'état spécifié. La réparation peut être préventive (maintenance conditionnelle) ou corrective (maintenance corrective) selon que la défaillance complète est anticipée ou non.

Vieillessement : effet combiné de la dégradation de l'ensemble des composants sur la probabilité de défaillance complète létale (non-réparable) de l'actif dans son ensemble (risque en pérennité).

Annexe 2 - Parc d'actifs stratégiques du Transporteur

1 Cette annexe présente de manière générale les différentes familles d'actifs qui composent
2 le réseau de Transport, leurs fonctions et une appréciation de leur âge. La proportion des
3 actifs ayant atteint 50 % de leur durée de vie permet d'apprécier l'effort de maintenance
4 requis pour contrôler la dégradation de cette famille d'actifs, alors que l'atteinte de 100 % de
5 la durée de vie permet d'apprécier l'effort d'investissement requis pour contrôler le
6 vieillissement de la famille d'actifs.

1 Le réseau du Transporteur

7 Le réseau de transport québécois, qui figure parmi les plus vastes au monde, est une
8 infrastructure très importante. Ce réseau est constitué d'une grande variété d'actifs
9 spécialisés. La valeur de remplacement du parc du Transporteur est d'un ordre de grandeur
10 de 100 milliards de dollars.

11 Les données pertinentes relatives à chacun de ces équipements sont consignées : date de
12 mise en service, rapports d'inspection et d'analyses techniques, interventions de
13 maintenance, d'entretien ou de remise à neuf. Lorsque cela s'applique, le personnel
14 d'entretien dispose également des données relatives au nombre d'heures d'utilisation ou au
15 nombre d'opérations enregistrées. L'opérateur du réseau dispose quant à lui également de
16 plusieurs informations en temps réel sur la disponibilité des appareils, leur position et dans
17 une certaine mesure sur leur état.

18 Cette section présente les fonctions, les caractéristiques et le profil des différentes familles
19 d'actifs du réseau de transport d'électricité.

1.1 Postes

20 Un poste est un lieu physique intégrant des équipements et des systèmes des spécialités
21 appareillage électrique, mécanique et civil, de la spécialité automatismes et d'une partie des
22 actifs du réseau de transport de télécommunications.

1.2 Lignes

23 Les lignes de transport ont pour fonction d'acheminer l'électricité à partir des installations de
24 production jusqu'aux centres de consommation. Une ligne peut porter un ou deux circuits
25 électriques triphasés qui raccordent entre eux deux ou plusieurs postes.

26 Les actifs des lignes sont répartis dans deux grandes familles, soit les lignes aériennes et
27 les lignes souterraines.

2 Actifs de la spécialité appareillage électrique

- 1 Les actifs en appareillage électrique sont généralement réparables. Les délais de fabrication
2 sont souvent très longs d'où l'utilisation d'une stratégie de pièces et d'actifs de réserve.
3 L'impact sur la sécurité vient principalement de risques de projection de porcelaine ou de
4 chute de composants en raison de leur grande hauteur.
- 5 L'appareillage électrique à haute tension est constitué de matériel spécialisé nécessitant de
6 grands investissements. Le matériel à très haute tension est constitué d'équipements
7 soumis à des contraintes mécaniques, électriques et environnementales élevées desquels
8 une grande performance est exigée, ce qui se reflète dans l'importance et la rigueur
9 accordée à leur maintenance.

2.1 Équipement disjoncteur

- 10 Le disjoncteur a pour fonction principale d'interrompre des courants de charge ou de défaut.
11 Il s'agit d'un appareil de protection essentiel, car il permet d'interrompre un courant de court-
12 circuit et d'éviter ainsi tout dommage au matériel connecté sur le réseau.

Photo 1
Une des trois phases d'un disjoncteur dans un poste à 735 kV



2.2 Équipements sectionneurs

- 13 Le sectionneur est un appareil électromécanique qui permet d'isoler un circuit électrique de
14 son alimentation en assurant une distance d'isolement généralement visible pour
15 l'opérateur, sauf dans le cas des postes blindés. Le sectionneur doit pouvoir supporter le
16 courant nominal ainsi que des courants de court-circuit pendant de courtes périodes.

Photo 2
Trois phases d'un sectionneur dans un poste à 230 kV



2.3 Équipements de transformation et inductances

- 1 Les équipements de transformation comprennent principalement quatre types d'appareils
- 2 ayant des éléments de conception similaire : les transformateurs de puissance, les
- 3 inductances shunt, les inductances à noyau d'air et les transformateurs de mesure.
- 4 Le transformateur de puissance a pour fonction de lier ensemble deux parties du réseau
- 5 opérant à des tensions différentes, tandis que l'inductance est un élément de compensation
- 6 permettant de corriger le facteur de puissance et contrôler la tension. Le transformateur de
- 7 mesure, pour sa part, a pour fonction d'abaisser le courant et/ou la tension à des niveaux
- 8 permettant la mesure.

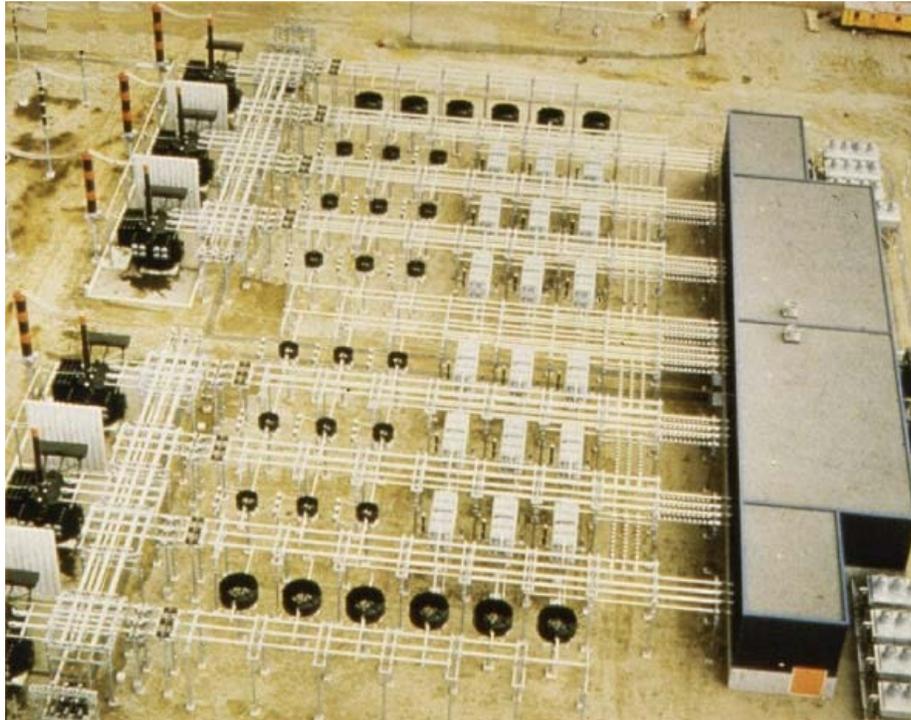
Photo 3
Transformateur de puissance triphasé



2.4 Équipements de compensation

- 1 Les équipements de compensation comprennent les compensateurs statiques (CLC), les
- 2 compensateurs synchrones (CS), les batteries de condensateurs shunt et les équipements
- 3 de compensation série (CXC). Tous ces appareils ont pour fonction d'absorber ou de fournir
- 4 de la puissance réactive. Les équipements de compensation comprennent aussi les
- 5 convertisseurs à courant continu qui permettent des échanges d'électricité avec les réseaux
- 6 voisins. Les compensateurs et les convertisseurs sont composés chacun de plusieurs
- 7 équipements et systèmes.

Photo 4
Compensateur statique (CLC)



- 1 Le réseau de transport conte des compensateurs statiques, des compensateurs
- 2 synchrones, des équipements de compensation série et des convertisseurs à courant
- 3 continu.

2.5 Équipements Parafoudres

- 4 Le parafoudre a pour fonction de protéger les autres équipements contre les surtensions
- 5 sévères.

Photo 5
Trois parafoudres installés sur un transformateur de puissance



2.6 Jeux de barres

- 1 Un jeu de barres est un conducteur suspendu (jeu de barres tendues) ou supporté par des
- 2 isolateurs (jeu de barres rigides) isolé dans l'air ou dans une enceinte blindée isolée au SF₆
- 3 (barres blindées au SF₆). Les jeux de barres ont pour fonction de transiter l'énergie entre les
- 4 différents équipements d'une installation.

Photo 6
Jeu de barres rigides



3 Actifs de la spécialité appareillage mécanique

- 1 Cette catégorie comprend les systèmes d'air comprimé, les appareils de levage, les pompes
- 2 et les groupes électrogènes.
- 3 Les actifs de l'appareillage mécanique sont constitués d'équipements assez bien connus et
- 4 disponibles dans l'industrie. Les systèmes pneumatiques à haute pression utilisés pour
- 5 alimenter certains disjoncteurs, bien que d'usage plus spécialisé, sont également utilisés
- 6 dans d'autres types d'industrie.

4 Actifs de la spécialité ouvrages civils

- 7 Les ouvrages civils regroupent des terrains, des bâtiments, des chemins, des systèmes de
- 8 récupération d'huile, de drainage et d'égouts, des clôtures et des barrières, des systèmes
- 9 de protection incendie, des puits d'accès, des systèmes d'eau potable, des caniveaux et
- 10 des tranchées pour câbles.
- 11 L'évolution de leur état est généralement très lente. Les efforts requis pour le diagnostic
- 12 d'état des ouvrages de béton, particulièrement des ouvrages enfouis sont beaucoup plus
- 13 grands que ceux requis pour les ouvrages aériens ou pour les bâtiments.

5 Actifs de la spécialité systèmes d'automatismes

- 1 Un système d'automatismes est constitué d'une chaîne d'éléments (relais simples ou
2 complexes, unités fonctionnelles, etc.) situés dans un seul poste ou dans un ensemble de
3 postes. Il a pour rôle d'exécuter une ou plusieurs fonctions automatisées. Leur nombre a
4 diminué au cours des dernières années en raison d'une proportion croissante de systèmes
5 de commande à technologie numérique qui peuvent effectuer chacun plus d'une fonction.
6 Les systèmes sont regroupés selon leurs fonctions dans les huit familles suivantes.
- 7 Les systèmes de protection détectent les événements et commandent l'opération des
8 disjoncteurs pour protéger les équipements et les lignes. Ces systèmes ont un impact
9 important sur la performance du réseau.
- 10 Les systèmes de commande permettent de manœuvrer localement ou à distance
11 (télécommande) différents équipements. Ces systèmes ont un impact important sur la
12 performance du réseau.
- 13 Les automatismes de réseau sont répartis dans plusieurs postes. Ils maintiennent l'équilibre
14 entre la production et la consommation du réseau et ils préservent l'intégrité des
15 équipements et la stabilité du réseau en cas d'événement majeur.
- 16 Les automatismes locaux remplissent des fonctions automatisées spécifiques à l'intérieur
17 d'une seule installation. Ces systèmes visent à réguler le fonctionnement du réseau ou à
18 accélérer le temps de réaction suite à un événement. Certains de ces systèmes ont un
19 impact important sur la qualité de l'alimentation des clients.
- 20 Les systèmes de mesure captent et transmettent la mesure des paramètres nécessaires à
21 l'exploitation du réseau et à la facturation des services de transit. Certains de ces systèmes
22 ont un impact important sur la performance du réseau.
- 23 Les systèmes de surveillance surveillent en temps réel le comportement du réseau ou d'une
24 portion du réseau afin de détecter et enregistrer toute perturbation ou événement
25 susceptible de l'affecter.
- 26 Les systèmes d'alimentation utilisent des accumulateurs et chargeurs pour alimenter en
27 courant continu les différents systèmes d'automatismes. Ces systèmes ont un impact très
28 important sur la performance du réseau.
- 29 Les systèmes d'automatismes des équipements particuliers comprennent tous les systèmes
30 reliés à des compensateurs et convertisseurs ayant pour fonction de contribuer à l'équilibre
31 du réseau ou au transfert d'énergie entre deux réseaux. Ces systèmes ont un impact
32 important sur la performance du réseau.

1 Les systèmes d'automatismes utilisent les technologies de systèmes de contrôle industriels.
2 Leur application très spécialisée rend particulièrement important la gestion des pièces de
3 rechange et la gestion de l'obsolescence de ces systèmes.

4 Le Transporteur profite de ses investissements en gestion de la pérennité (gestion de
5 l'obsolescence), pour effectuer une migration graduelle vers les technologies numériques en
6 s'assurant de l'interopérabilité technologique entre les différentes générations et entre les
7 différents fabricants. Cette stratégie permet d'éviter de devoir remplacer d'un coup
8 l'ensemble des systèmes d'une installation.

6 Actifs de la spécialité lignes aériennes

9 Les lignes aériennes sont composées d'un ensemble de conducteurs, d'isolateurs et
10 d'accessoires supportés par des pylônes métalliques ou des portiques de bois.

11 Les actifs des lignes aériennes de transport nécessitent un investissement initial très élevé
12 étant donné le nombre d'actifs impliqués et la grande distance entre eux. Leur entretien est
13 par la suite surtout constitué d'inspection fréquente des supports, des chaînes d'isolateurs
14 et des conducteurs. La durée de vie des lignes en acier est très longue.

15 L'entretien des emprises est l'élément dont la détérioration est la plus rapide. Son impact
16 est important sur la performance d'un circuit. Il est d'ailleurs suivi particulièrement de près
17 par les organismes de réglementation américains depuis qu'un court-circuit entre un arbre
18 et un conducteur sur une ligne à haute tension a provoqué une panne générale du réseau
19 ontarien et de l'est américain il y a quelques années.

Photo 7
Chaînes d'isolateurs d'une des trois phases d'un circuit à 735 kV



7 Actifs de la spécialité lignes souterraines

- 1 Les lignes souterraines sont composées de traversées, de câbles à l'huile ou à isolation polymérique et d'accessoires installés dans des canalisations destinées à cet usage.
- 2
- 3 Les actifs des lignes souterraines nécessitent un investissement initial significativement plus
- 4 important que les lignes aériennes. Leur détérioration est très lente, leur fiabilité très grande,
- 5 mais en contrepartie, leur délai de remplacement est très long.
- 6 La technologie des câbles à l'huile nécessite plus de maintenance que les câbles à isolation
- 7 synthétique.