

## **Modèle de gestion des actifs**

**Hypothèses techniques aux fins de l'analyse  
coûts-bénéfices de la maintenance additionnelle**

**Et**

**Calcul des bénéfices liés à la dégradation  
additionnelle des équipements évitée par la  
maintenance additionnelle sur 10 ans**



**Table des matières**

<b>1</b>	<b>Contexte</b>	<b>5</b>
1.1	Introduction	5
1.2	Retour sur les notions présentées dans le dossier tarifaire 2017	6
1.2.1	Le concept de la dégradation d'un actif	6
1.2.2	Maintenance corrective	6
1.2.3	Défaillance complète : indisponibilité forcée	7
<b>2</b>	<b>Effets d'une dégradation additionnelle sur les actifs</b>	<b>7</b>
2.1	Corrélation entre défaillances et dégradation	8
2.1.1	Effet de l'âge de l'actif sur la dégradation	8
2.1.2	Effet de la maintenance préventive sur la dégradation	8
2.2	Effet de spirale à la suite d'un retard cumulatif de maintenance préventive	12
2.3	Projection du nombre de défaillances de transformateurs et de sectionneurs	13
2.3.1	Effet de l'évolution simulée de la maintenance	13
2.3.2	Tendance anticipée pour les disjoncteurs	15
2.4	Coûts directs évités de la dégradation additionnelle	15
<b>3</b>	<b>Effet de la dégradation additionnelle sur les IF</b>	<b>16</b>
3.1	Corrélation entre les IF et les défaillances simulées	16
3.2	Projection des IF évitées (transformateurs et sectionneurs)	18
<b>4</b>	<b>Effet de la dégradation additionnelle sur les interruptions de clients</b>	<b>20</b>
4.1	Corrélation entre les défaillances et les interruptions de clients	20
4.2	Projection des interruptions évitées (transformateurs et sectionneurs)	21
4.2.1	Part des interruptions attribuable aux sectionneurs et aux transformateurs	21
4.2.2	Évolution prévue du nombre d'interruptions de 2018 à 2027	22
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>23</b>

**Liste des figures**

Figure 1	Taux de défaillance annuel en fonction de la réalisation de la maintenance (EPRI)	11
Figure 2	Projection avec l'effet de spirale des défaillances évitées avec la maintenance additionnelle 2018-2027	14
Figure 3	Corrélation entre les IF réelles et les défaillances simulées pour 2016	18
Figure 4	Projection des IF évitées avec la maintenance additionnelle	19

**Liste des tableaux**

Tableau 1	Comparaison des taux annuels de défaillances de l'EPRI et du Transporteur	10
Tableau 2	Écart entre les scénarios de maintenance étudiés (nombre de défaillances avec l'effet de spirale)	15
Tableau 3	Nombre de IF évitées avec la maintenance additionnelle	20
Tableau 4	Écart moyen annuel entre les scénarios* en nombre d'interruptions	22



## **1 Contexte**

### **1.1 Introduction**

1 Au dossier tarifaire 2017<sup>1</sup>, le Transporteur a déposé une preuve substantielle justifiant la  
2 nécessité d'adapter le niveau de maintenance à l'âge de ses actifs. La stratégie de  
3 maintenance présentée mettait en relation :

- 4 • le vieillissement contrôlé du parc d'actifs du Transporteur conformément à la  
5 stratégie de pérennité adoptée en 2008 ;
- 6 • la dégradation accélérée des équipements en raison de l'accroissement de l'âge  
7 moyen des actifs ;
- 8 • l'accroissement important des indisponibilités forcées (« IF ») attribué à cette  
9 dégradation supplémentaire ;
- 10 • l'effet d'entraînement (effet « spirale ») possible des défaillances supplémentaires :
  - 11 ◦ en détournant le budget de la maintenance préventive vers la maintenance  
12 corrective ;
  - 13 ◦ augmentant ainsi le retard en maintenance préventive ;
  - 14 ◦ et accélérant davantage la dégradation.

15 Un montant additionnel de 45 M\$ avait été demandé de façon récurrente pour adapter le  
16 niveau de maintenance à l'âge du parc d'actifs et ainsi réaliser la maintenance nécessaire.

17 Dans sa décision D-2017-021<sup>2</sup>, la Régie reconnaît, exclusivement pour 2017, le montant de  
18 45 M\$ et demande au Transporteur une analyse coûts-bénéfices de la maintenance  
19 additionnelle sur 10 ans, basée sur une quantification des coûts évités par la réduction des  
20 IF, en identifiant les hypothèses méthodologiques et les résultats de l'analyse. Afin de  
21 répondre à cette demande, le Transporteur présente les résultats de ces travaux en deux  
22 étapes. La première étape, dont le résultat des travaux fait l'objet de la présente pièce, vise  
23 à déterminer les effets de la dégradation additionnelle d'un actif en fonction du niveau de  
24 maintenance réalisé, puis de quantifier les impacts de la maintenance additionnelle au cours  
25 des 10 prochaines années, en termes de :

- 26 • nombre de défaillances (section 2.3) et coûts directs de réparations évitées (section  
27 2.4) ;

---

<sup>1</sup> R-3981-2016, HQT-3, Documents 1 et 1.1.

<sup>2</sup> R-3981-2016, D-2017-021, par.68

- 1           • nombre de IF évitées (section 3.2) ;  
2           • nombre d'interruptions de clients évitées (section 4.2).

3 À partir des projections de défaillances évitées, le Transporteur a pu calculer un coût direct  
4 de réparations supplémentaires évitées. Cette estimation est présentée à la section 2.4. et  
5 s'ajoute à l'analyse coûts-bénéfices des coûts évités par la réduction des IF.

6 La seconde étape, réalisée par la firme Roland-Berger mandatée par le Transporteur, porte  
7 sur l'analyse coûts-bénéfices de la maintenance additionnelle sur 10 ans. Le rapport de  
8 Roland Berger présenté à la pièce HQT-3, Document 1.2 quantifie économiquement les  
9 bénéfices liés à la réduction de la dégradation des équipements et des IF qui en découlent à  
10 partir des intrants fournis par le Transporteur à la présente, soit les volumes de défaillances,  
11 des IF et des interruptions évitées calculés dans le premier volet ainsi que le coût de la  
12 dégradation des actifs calculé à la section 2.4.

## **1.2 Retour sur les notions présentées dans le dossier tarifaire 2017<sup>3</sup>**

### ***1.2.1 Le concept de la dégradation d'un actif***

13 La dégradation d'un actif entraîne une baisse de fiabilité qui se caractérise par trois  
14 phénomènes :

- 15           • l'apparition de défaillances partielles ;  
16           • l'accumulation des défaillances partielles lorsqu'elles ne sont pas détectées et  
17 réparées (maintenance préventive) ;  
18           • la dégénération potentielle de chacune des défaillances partielles vers une  
19 défaillance complète de l'actif entraînant ainsi l'occurrence d'une IF.

### ***1.2.2 Maintenance corrective***

20 Lors d'une défaillance complète, une intervention est requise pour rendre de nouveau  
21 disponible un actif. L'intervention consiste généralement en une réparation en urgence  
22 (maintenance corrective) ou plus rarement en un remplacement en urgence. Cette  
23 réparation en urgence est généralement plus onéreuse, plus longue et plus inefficace que  
24 la réparation préventive alors que la défaillance est encore partielle.

25 Dans les activités de maîtrise de la végétation, par exemple, un retard en entretien  
26 entraînera une croissance exponentielle des repousses et nécessitera des interventions

---

<sup>3</sup> R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1.

1 plus substantielles pour contrôler la hauteur de la végétation que si l'entretien avait été  
2 réalisé au bon moment.

### **1.2.3 Défaillance complète : indisponibilité forcée**

3 L'occurrence d'une défaillance complète d'un actif s'avère hautement indésirable car elle  
4 entraîne une IF de l'actif. Elle peut aussi avoir un effet plus étendu sur la fiabilité (ex : court-  
5 circuit), l'environnement (ex : déversement d'huile) de même que sur la sécurité des  
6 personnes (ex : chute ou projection de matériel). La défaillance complète est également  
7 source d'improductivité car l'IF de l'actif, jusqu'à sa réparation ou son remplacement,  
8 bouleverse les interventions planifiées et l'exploitation du réseau et limite les solutions qui  
9 auraient été possibles lors d'une intervention planifiée.

10 En plus des risques pour la sécurité des personnes, l'environnement et la fiabilité du réseau,  
11 la défaillance complète rend indisponible un actif. Cependant, étant donné l'importance des  
12 charges alimentées par le réseau de transport, ce dernier est généralement conçu avec une  
13 redondance des équipements critiques qui permet de minimiser l'impact direct d'une IF. Une  
14 indisponibilité vulnérabilise néanmoins le réseau jusqu'à ce que la défaillance soit réparée  
15 ou que l'actif soit remplacé. Une défaillance en période de forte sollicitation du réseau a  
16 généralement des impacts directs, comme la diminution de la capacité de transit ou  
17 l'interruption de service, ou indirects dans la mesure où ils forcent le Transporteur à  
18 reconfigurer le réseau pour se prémunir contre une possible défaillance supplémentaire. Il  
19 est donc essentiel de contrôler le volume des IF.

## **2 Effets d'une dégradation supplémentaire sur les actifs**

20 Pour quantifier les effets d'une hausse de la dégradation de ses actifs, le Transporteur doit  
21 établir plusieurs éléments :

- 22 • le lien théorique direct entre le niveau de maintenance réalisé, la dégradation  
23 supplémentaire et l'évolution des défaillances (section 2.1) ;
- 24 • l'effet « spirale » des défaillances qui entraînent un détournement du budget dédié  
25 à la maintenance préventive vers de la maintenance corrective (section 2.2) ;
- 26 • la quantification du nombre de défaillances futures de sectionneurs et de  
27 transformateurs qui seraient évitées par la maintenance supplémentaire (section 2.3) ;
- 28 • le coût direct de ces défaillances futures supplémentaires ou coût évité de la  
29 dégradation supplémentaire (section 2.4).

## **2.1 Corrélation entre défaillances et dégradation**

1 Les simulations de défaillances du Transporteur étaient dans le passé basées sur un rythme  
2 historique de réalisation de la maintenance. Ni l'effet d'un changement soudain de rythme  
3 de réalisation de maintenance, ni l'effet d'une accumulation de retard sur plusieurs années  
4 n'était pris en compte dans les modèles de simulation du nombre de défaillances.

5 En théorie, l'âge et la réalisation de la maintenance préventive ont un effet sur la  
6 dégradation et donc le nombre de défaillances. En effet, la dégradation s'accélère avec  
7 l'âge tandis que la maintenance ralentit ou prévient son effet. Ces deux éléments sont les  
8 composants essentiels de la dégradation que le Transporteur cherche à quantifier par de  
9 nouveaux modèles.

### ***2.1.1 Effet de l'âge de l'actif sur la dégradation***

10 L'historique des défaillances complètes a été comptabilisé selon l'âge des actifs de la  
11 catégorie de l'appareillage électrique. Les courbes de dégradation obtenues confirment et  
12 quantifient l'accroissement du taux de défaillance complète réparable en fonction de l'âge  
13 des appareils (accélération de la fréquence des bris). L'âge de chaque appareil électrique  
14 est désormais pris en compte dans les simulations pour déterminer le nombre de  
15 défaillances complètes réparables et donc le nombre d'interventions requises en  
16 maintenance corrective.

17 Cette mise à jour du modèle de dégradation pour prendre en compte l'âge de chaque actif  
18 permet d'identifier un besoin annuel additionnel récurrent en maintenance pour  
19 l'appareillage électrique de l'ordre de 4 M\$.

### ***2.1.2 Effet de la maintenance préventive sur la dégradation***

20 Le Transporteur a étudié l'impact d'une maintenance insuffisante sur l'évolution de la  
21 dégradation. Pour l'instant, il ne dispose pas des données et modèles nécessaires pour  
22 quantifier l'effet de cette maintenance insuffisante sur les défaillances. Pour qualifier  
23 l'évolution de la dégradation et des défaillances, le Transporteur utilise la notion de risque<sup>4</sup>.

24 Pour répondre à la demande de la Régie, le Transporteur doit être en mesure de quantifier  
25 l'évolution future des défaillances complètes d'actifs et le nombre pouvant être évité par une  
26 hausse de maintenance. Comme il ne dispose pas de modèles, le Transporteur utilise les  
27 seuls modèles théoriques disponibles permettant de lier la maintenance au taux de

---

<sup>4</sup> R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1.



1 défaillance d'appareillage électrique à haute et très haute tension. Les modèles sont ceux  
2 de l'Electric Power Research Institute (EPRI)<sup>5</sup>.

3 L'EPRI est un organisme international disposant d'algorithmes de calcul intégrés dans un  
4 progiciel PMBD<sup>6</sup> qui permettent de faire le lien entre le taux de défaillance et le niveau  
5 d'entretien réalisé. Ces calculs sont basés sur des dizaines d'années de compilation de  
6 statistiques sur des bris d'appareils et appuyés par des panels d'experts de producteurs  
7 d'électricité (nucléaire, hydraulique et fossile). Parmi les centaines de familles d'appareils  
8 répertoriés par l'EPRI, seuls les disjoncteurs, les sectionneurs et les transformateurs de  
9 puissance se retrouvent dans le parc d'actifs du Transporteur.

10 Pour s'assurer que les actifs du Transporteur se comportent comme ceux compilés par  
11 l'EPRI, et donc de l'applicabilité de leurs modèles à ses projections, le Transporteur a  
12 calculé une approximation du taux de défaillance à maintenance optimale et du taux de  
13 défaillance sans maintenance pour ses disjoncteurs, ses sectionneurs et ses  
14 transformateurs de puissance. Il les a par la suite comparés aux valeurs équivalentes selon  
15 la PMBD. Cette comparaison est présentée au tableau 1.

16 Pour obtenir le taux de défaillance optimal théorique (taux selon une maintenance optimale),  
17 le Transporteur a utilisé le taux de défaillance historique de ses appareils durant la première  
18 année d'exploitation après leur mise en service. En effet, durant cette première année un  
19 appareil n'est théoriquement ni affecté par l'âge, ni affecté par un retard de maintenance  
20 préventive.

21 Pour obtenir le taux de défaillance maximal théorique (taux sans aucune maintenance), le  
22 Transporteur a utilisé la somme des taux historiques de défaillance partielle et complète de  
23 ses appareils. Il considère ainsi comme approximation que les défaillances partielles  
24 réparées historiquement auraient toutes éventuellement engendré une défaillance complète  
25 n'eut été de leur réparation.

26 Le Transporteur a ensuite comparé ses taux de défaillance avec ceux de la PMBD.

---

<sup>5</sup> EPRI est un organisme de recherche sans but lucratif américain créé à la suite de la panne électrique générale en 1965. Initialement dédié aux équipements de l'industrie nucléaire aux États-Unis, il compte maintenant parmi ses membres, des fournisseurs d'électricité de plus de 35 pays.

<sup>6</sup> La Preventative Maintenance Basis Database (PMBD) est un système informationnel (progiciel) dédié à la maintenance préventive des équipements des centrales nucléaires, hydrauliques et fossiles. Il s'appuie sur des décennies de compilation de données d'entretien et de défaillances provenant d'un grand nombre de producteurs ainsi que sur la sollicitation des panels d'experts des équipements. Le progiciel contient présentement les modèles et informations pour environ 300 types d'équipements. La PMBD permet d'évaluer des stratégies d'entretien pour différents types d'actifs et de prédire l'effet de ces stratégies sur le contrôle des mécanismes de dégradation.

**Tableau 1**  
**Comparaison des taux annuels de défaillances de l'EPRI et du Transporteur**

	Taux de défaillance optimal théorique (à maintenance optimale)		Taux de défaillance maximal théorique (sans aucune maintenance)	
	EPRI	HQT <sup>7</sup>	EPRI	HQT <sup>8</sup>
Sectionneurs	0,0023	0,0039	0,1608	0,14572
Transformateurs de puissance	0,0900	0,0915	1,1480	1,0382
Disjoncteurs	0,1193	0,0344	1,0295	0,3604

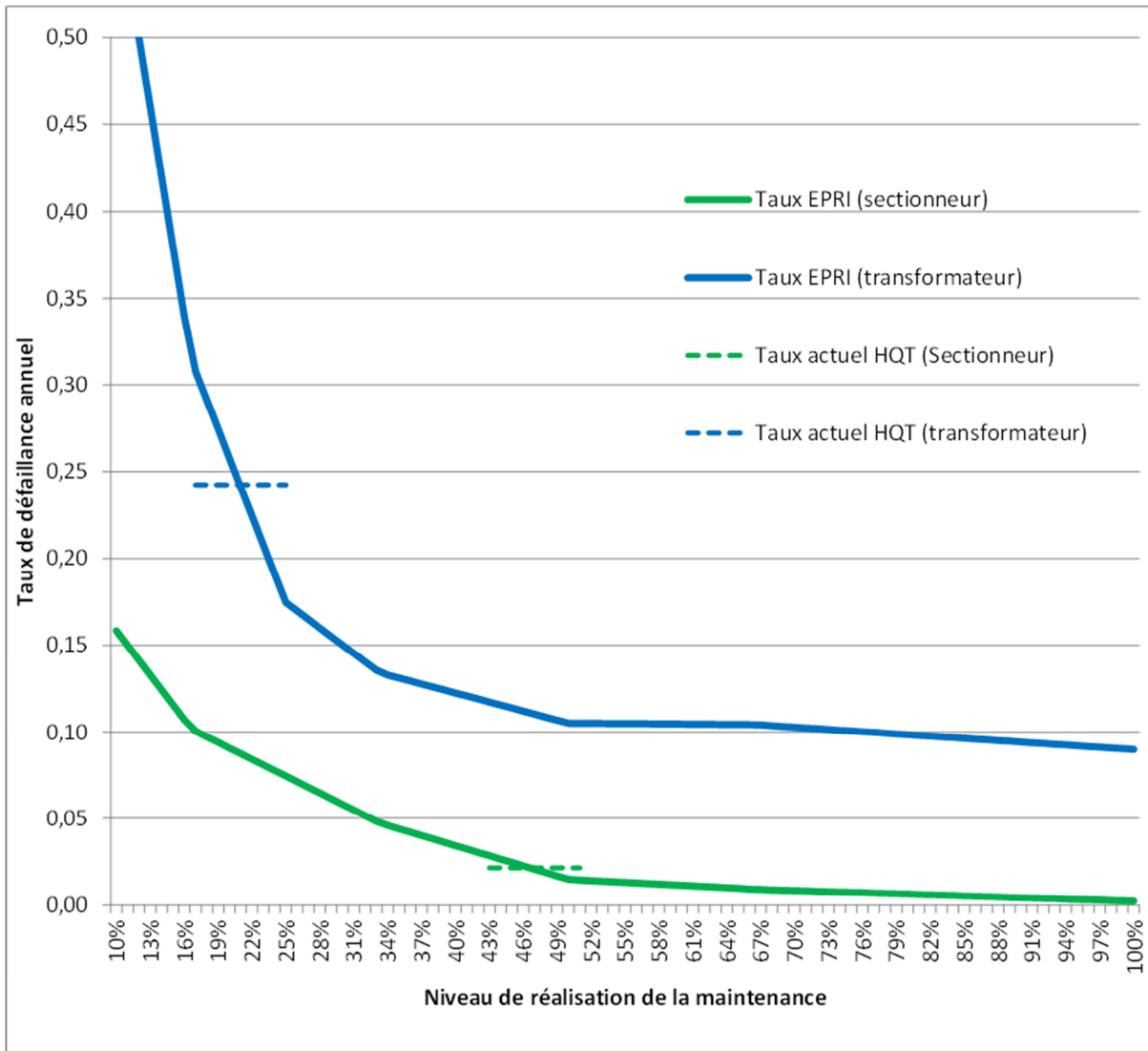
1 Les valeurs théoriques de l'EPRI pour les sectionneurs et transformateurs de puissance  
 2 coïncident grandement avec celles du Transporteur. Par contre, après validation des  
 3 données du Transporteur pour les disjoncteurs, celles-ci ne correspondent pas aux valeurs  
 4 selon l'EPRI. En effet, les données de l'EPRI sont pour des disjoncteurs à basse tension et  
 5 non à moyenne, haute et très haute tension comme ceux utilisés par le Transporteur.

6 Compte tenu de cette forte correspondance des valeurs extrêmes, le Transporteur a donc  
 7 posé comme hypothèse que les modèles de la PMBD peuvent servir à calculer l'effet de la  
 8 maintenance sur le taux de défaillance de ses transformateurs et sectionneurs. Ainsi, à  
 9 partir des données de l'EPRI, le Transporteur a extrapolé des courbes théoriques de taux de  
 10 défaillance de ses transformateurs de puissance et de ses sectionneurs en fonction du  
 11 niveau moyen de maintenance. Ces courbes sont présentées à la figure 1.

7 Taux de défaillance annuel historique 2008-2016 pour les appareils ayant 1 an. Pour les sectionneurs, le taux passe de 0,0003 à 0,0039 la première année.

8 Taux de défaillance partielle moyen additionné au taux de défaillance complète moyen

**Figure 1**  
**Taux de défaillance annuel en fonction de la réalisation de la maintenance (EPRI)**



- 1 Le taux de défaillance actuel pour HQT est respectivement de 0,2423 et de 0,0217 par
- 2 année pour les transformateurs de puissance et pour les sectionneurs. On en déduit que le
- 3 Transporteur effectue moins de la moitié de la maintenance de référence<sup>9</sup> selon l'EPRI.

<sup>9</sup> Selon l'EPRI, une hausse de la fréquence d'entretien diminue les défaillances jusqu'à une fréquence «de référence» à partir de laquelle une hausse supplémentaire n'entraîne aucune amélioration perceptible. Cette fréquence de référence est basée sur un délai d'apparition des mécanismes de dégradation et est représentée par la valeur de 100 % sur la figure 1.

1 Selon ces courbes, une faible variation du niveau de maintenance actuel du Transporteur  
2 aurait un grand effet sur le taux de défaillance<sup>10</sup>.

3 On peut aussi déduire de ces courbes théoriques que la hausse des défaillances constatée  
4 par le Transporteur, au cours des dernières années, pourrait s'expliquer par une  
5 accumulation de retard en maintenance préventive entraînant une hausse de la dégradation  
6 des actifs.

7 Ces explications théoriques basées sur les modèles de la PMBD corroborent directement  
8 l'hypothèse du Transporteur à l'effet que le niveau actuel de maintenance préventive n'est  
9 plus adapté à l'âge de ses actifs, mais également que la situation se détériore depuis  
10 quelques années et peut théoriquement se détériorer davantage.

11 Le Transporteur a donc pu établir un lien clair et objectif entre le niveau de maintenance  
12 réalisé et l'évolution des défaillances complètes des sectionneurs et des transformateurs de  
13 puissance. Il n'a toutefois pas encore pu établir un lien clair pour les autres familles d'actifs.  
14 Ces dernières seront donc exclues des hypothèses utilisées dans les analyses futures  
15 rendant conservateurs les résultats de l'évaluation de la rentabilité d'un accroissement des  
16 interventions de maintenance présentée par la firme Roland-Berger, les transformateurs et  
17 sectionneurs n'occasionnant que 45 % des défaillances annuelles d'appareillage  
18 électrique<sup>11</sup> du Transporteur.

## 2.2 Effet de spirale à la suite d'un retard cumulatif de maintenance préventive

19 Rappelons le phénomène d'« effet spirale » décrit dans le dossier tarifaire 2017<sup>12</sup>.

20 « [...] la perte de disponibilité ou d'exploitabilité peuvent à leur tour avoir un effet sur la  
21 maintenance.

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

25 [...]

26 *La baisse de la fiabilité nourrit donc ses propres causes par l'effet de deux boucles de  
27 rétroaction ou spirales de déclin. Premièrement, la baisse de fiabilité détourne les ressources*

---

<sup>10</sup> Par exemple, une baisse de seulement 10% de la maintenance ferait doubler le taux de défaillance des sectionneurs.

<sup>11</sup> Appareillage électrique à moyenne, haute et très haute tension.

<sup>12</sup> R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, Section 2.4

1 de l'entretien préventif vers l'entretien correctif. Deuxièmement, la baisse de fiabilité réduit la  
2 disponibilité des équipements pour les retraits planifiés en plus de bouleverser la planification  
3 des travaux sur les équipements avoisinants. Dans les deux cas, la maintenance maîtrise alors  
4 moins bien l'état, puis la dégradation de l'état des appareils affecte à son tour négativement  
5 leur fiabilité et ainsi l'utilisation efficiente des ressources, etc.

6 Rappelons que la dégradation et le vieillissement ont une évolution exponentielle. L'effet des  
7 boucles de rétroaction décrites précédemment est donc d'autant plus rapide que l'actif est  
8 vieux ou usé. [...] »

9 Une hausse du nombre de défaillances complètes vient donc augmenter les ressources  
10 dédiées aux travaux en maintenance corrective, ce qui vient diminuer d'autant les  
11 ressources dédiées à la maintenance préventive puisque les ressources totales disponibles  
12 sont plafonnées. D'autre part, l'utilisation de ses ressources disponibles est moins efficiente  
13 en raison, entre autres, du bouleversement de la planification des travaux.

14 Avec un parc d'actifs vieillissant, la dégradation s'accélère. Avec des paramètres stables et  
15 plafonnés (dollars, main-d'œuvre, indisponibilité de retrait sur le réseau, etc.) en  
16 maintenance, cette dégradation supplémentaire entraînera un plus grand nombre de  
17 défaillances complètes. Une part croissante des budgets devra être octroyée aux  
18 interventions en maintenance corrective, ce qui entraînera une diminution du nombre  
19 d'interventions effectuées en maintenance préventive, aggravant ainsi le retard de  
20 maintenance causant conséquemment l'accumulation de dégradation et ainsi de suite d'une  
21 année à l'autre.

## **2.3 Projection du nombre de défaillances de transformateurs et de sectionneurs**

### **2.3.1 Effet de l'évolution simulée de la maintenance**

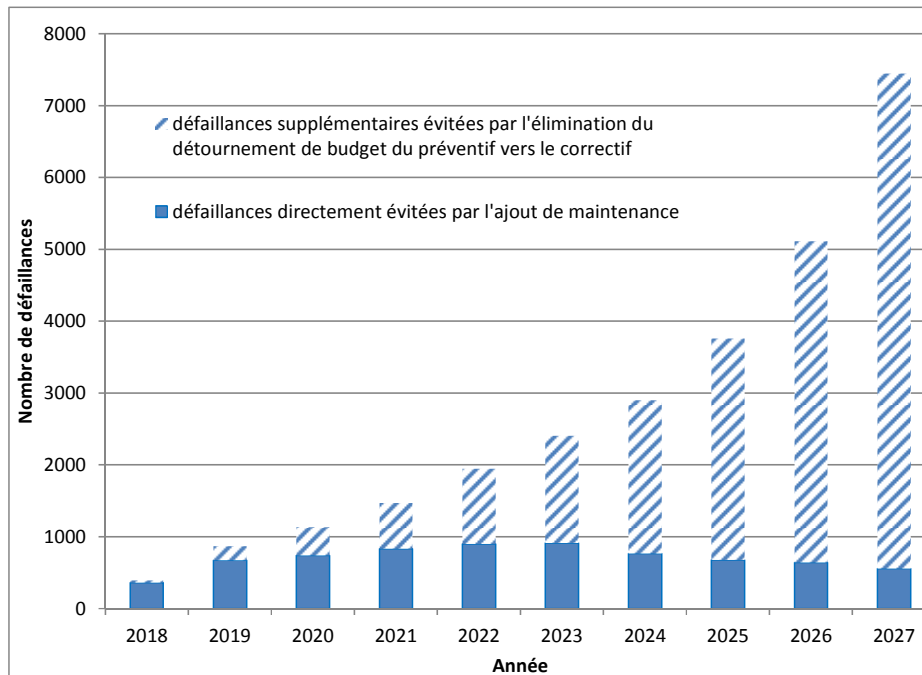
22 Les résultats des simulations effectuées à l'aide du MGA permettent de connaître l'évolution  
23 annuelle du retard de maintenance préventive accumulé. Grâce à la figure 1, on peut  
24 convertir cette évolution du retard de maintenance en variation de taux de défaillance. Cette  
25 variation du taux permet d'évaluer une variation du nombre de défaillances pour une année  
26 donnée pour les sectionneurs et les transformateurs de puissance.

27 Pour quantifier l'effet « spirale », le Transporteur a utilisé la variation des défaillances et les  
28 coûts moyens d'intervention en maintenance corrective pour en déduire le budget  
29 supplémentaire requis pour une année donnée. Comme le budget total de maintenance est  
30 fixe, le montant supplémentaire en correctif doit être déduit du montant prévu pour le  
31 préventif. Cette déduction au budget a ensuite été convertie en nombre équivalent  
32 d'interventions en maintenance préventive, ce qui a permis de calculer un retard  
33 supplémentaire en maintenance pour l'année. Ce retard supplémentaire est ensuite ajouté

1 au retard de maintenance annuel simulé par le MGA. Cette nouvelle valeur de retard cumulé  
2 est utilisée pour calculer le taux de défaillance de l'année suivante et ainsi de suite.

3 La figure 2 présente le nombre de défaillances complètes dérivées à partir des courbes de  
4 la figure 1 en utilisant le retard de maintenance préventive simulé à l'aide du MGA, puis en y  
5 ajoutant l'effet « spirale » du budget détourné de la maintenance préventive vers la  
6 maintenance corrective. Les défaillances évitées constituent l'écart du nombre de  
7 défaillances entre les scénarios de maintien du budget de charges nettes d'exploitation  
8 (« CNE ») dédiées à la maintenance et de hausse budgétaire pour une maintenance  
9 adaptée, comme celle demandée dans la présente demande tarifaire.

**Figure 2**  
**Projection avec l'effet de spirale des défaillances évitées**  
**avec la maintenance additionnelle**  
**2018-2027**



**Tableau 2**  
**Écart entre les scénarios de maintenance étudiés**  
**(nombre de défaillances avec l'effet de spirale)**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Total 10 ans
Défaillances évitées si on hausse les budgets de maintenance (écart attribuable à l'écart de maintenance entre les scénarios étudiés)	361	670	737	833	901	913	763	677	640	556	7 053
Défaillances additionnelles attribuables à l'effet « spirale » du détournement de budget du préventif vers le correctif	32	198	393	636	1 045	1 491	2 135	3 082	4 472	6 888	20 373
<b>Écart total</b>	<b>393</b>	<b>868</b>	<b>1 131</b>	<b>1 469</b>	<b>1 946</b>	<b>2 403</b>	<b>2 898</b>	<b>3 759</b>	<b>5 113</b>	<b>7 445</b>	<b>27 426</b>

### **2.3.2 Tendance anticipée pour les disjoncteurs**

1 Les disjoncteurs sont, après les transformateurs et les sectionneurs, les appareils ayant le  
 2 plus grand nombre de défaillances par année (environ 21 % des défaillances annuelles  
 3 d'appareillage électrique<sup>13</sup>). Il est à noter que les simulations du Transporteur pour les  
 4 disjoncteurs semblent indiquer une accumulation de retard en maintenance similaire à celle  
 5 pour les sectionneurs et les transformateurs. La courbe EPRI du taux de défaillance selon la  
 6 maintenance réalisée n'a pas été établie pour les disjoncteurs. Toutefois, selon les principes  
 7 sur lesquels s'appuient la PMBD, l'accumulation d'un retard de maintenance devrait  
 8 théoriquement correspondre à une hausse du taux de défaillance qui viendrait s'ajouter  
 9 à celle calculée pour les transformateurs et les sectionneurs.

### **2.4 Coûts directs évités de la dégradation additionnelle**

10 Comme démontré dans les sections précédentes, le Transporteur a établi les volumes  
 11 théoriques des défaillances complètes à prévoir à la suite d'un manque de maintenance  
 12 préventive. Comme mentionné dans la section 1.2, ces défaillances complètes entraînent  
 13 une réparation en urgence (maintenance corrective) plutôt qu'une intervention préventive  
 14 (maintenance préventive conditionnelle). De plus, la réparation d'une défaillance complète  
 15 est plus coûteuse que la réparation d'une défaillance partielle. À partir des volumes de  
 16 défaillances estimés et du surcoût par intervention, le Transporteur estime que les coûts

<sup>13</sup> Appareillage électrique simulé à moyenne, haute et très haute tension seulement, donc excluant les services auxiliaires.

1 directs évités pour le volet dégradation additionnelle est de l'ordre de 220 M\$<sup>14</sup> sur 10 ans.  
2 Ce montant est un intrant à l'analyse coûts-bénéfices de la maintenance additionnelle  
3 (incluant les autres coûts directs et indirects) présentée dans le rapport de la firme Roland-  
4 Berger à la pièce HQT-3, Document 1.2.

### **3 Effet de la dégradation additionnelle sur les IF**

5 Transporteur doit établir la corrélation entre les défaillances et les IF. Une fois cette  
6 corrélation démontrée, le nombre de défaillances évitées de 2018 à 2027 sera utilisé pour  
7 déduire le nombre d'IF évitées pour la même période.

#### **3.1 Corrélation entre les IF et les défaillances simulées**

8 Ce ne sont pas tous les actifs du Transporteur qui transportent directement de l'électricité.  
9 Une défaillance n'est donc pas nécessairement égale à une IF mais dépend de l'appareil  
10 touché et de sa fonction sur le réseau.

11 Les IF sont comptabilisées principalement pour les emplacements<sup>15</sup> d'exploitation à  
12 moyenne, haute et très haute tension des postes de transport. Les données d'inventaire  
13 pour l'appareillage électrique<sup>16</sup> permettent de lier chaque actif à son type d'emplacement  
14 d'exploitation. Il est donc possible de comparer, par type d'emplacement, les IF historiques  
15 et les défaillances simulées par le MGA.

16 Le Transporteur a utilisé les IF historiques de 2009 à 2016 pour établir leur tendance par  
17 type d'emplacement. À ces valeurs historiques, le Transporteur a comparé les défaillances  
18 complètes estimées par le MGA. Le MGA utilise les taux de défaillance historiques selon  
19 l'âge des appareils. Ces taux ne sont disponibles que pour l'appareillage électrique simulé.

20 Certains actifs du réseau ont été exclus de l'analyse pour les raisons suivantes :

- 21 • Les appareils de services auxiliaires (accumulateurs, chargeurs, disjoncteurs à 600  
22 Volt) car ils ne sont pas inventoriés par emplacement d'exploitation ;
- 23 • Les automatismes car ils ne sont pas inventoriés par emplacement d'exploitation de  
24 manière compatible avec les données d'IF ;
- 25 • Les actifs de compensation complexes (compensateurs synchrones,  
26 compensateurs statiques, groupes convertisseurs) car ils ne sont pas simulés ;

---

<sup>14</sup> Incluant un montant de 34 M\$ en coûts évités pour le contrôle de la végétation.

<sup>15</sup> Voir la définition d'emplacement d'exploitation dans R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, Annexe 1 – Glossaire. Par exemple, la transformation de la tension, l'interruption d'un courant de court-circuit, etc.

<sup>16</sup> Moyenne, haute et très haute tension seulement, donc excluant les services auxiliaires.



- 1 • Les actifs mécaniques et civils car ils ne sont pas simulés ;
- 2 • Les départs de ligne car ces données incluent des causes liées aux circuits qu'il est
- 3 difficile de discriminer des causes liées à des actifs de poste ;
- 4 • Les actifs de ligne puisque les IF ne sont comptabilisées que dans les postes.

5 À la suite d'analyses par type d'emplacement d'exploitation, le Transporteur note, par  
6 exemple, que les défaillances complètes de transformateurs de puissance ne représentent  
7 qu'environ 61 % des défaillances complètes qui surviennent dans les emplacements de  
8 transformateurs. Les 39 % de défaillances restantes sont causées par les autres appareils  
9 connexes également inclus dans les emplacements de transformateurs, comme les  
10 parafoudres, les transformateurs de mesure, les transformateurs de service auxiliaires et les  
11 inductances de mise à la terre.

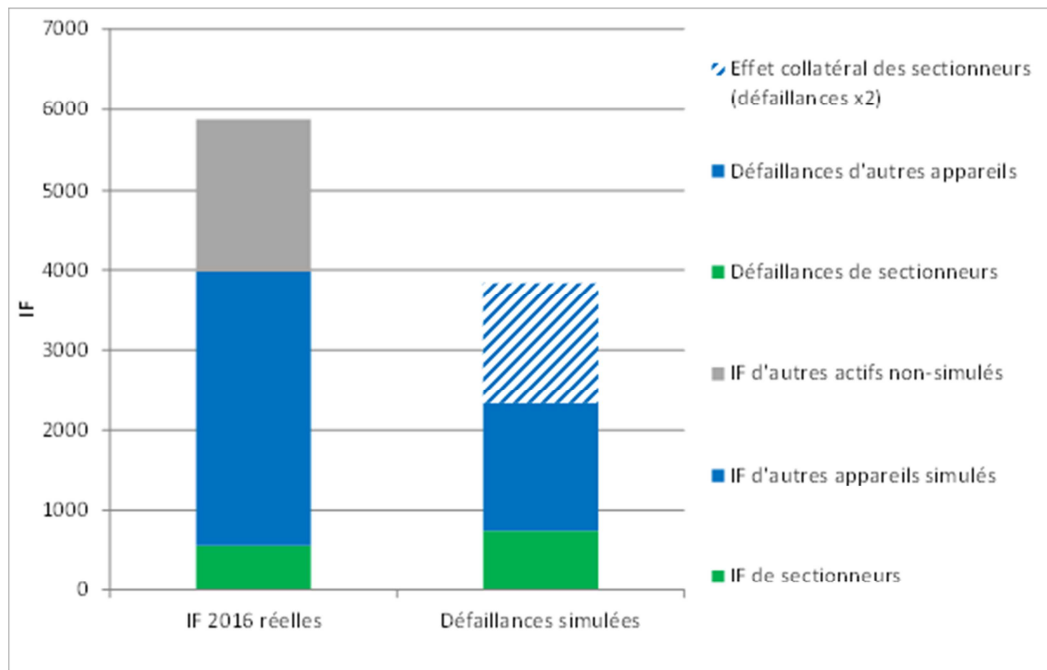
12 Pour établir le lien théorique entre les IF et les défaillances, le Transporteur explique que  
13 n'importe quel appareillage électrique qui entre en défaillance complète rend l'emplacement  
14 d'exploitation dont il fait partie indisponible. Pour éviter d'affecter les autres emplacements  
15 adjacents, des sectionneurs sont installés entre chacun des emplacements pour permettre  
16 de les isoler électriquement les uns des autres. Par conséquent, les sectionneurs sont le  
17 point frontière entre deux autres emplacements d'exploitation. Puisqu'un sectionneur en  
18 défaut ne peut pas être utilisé pour s'isoler lui-même, une défaillance complète de  
19 sectionneur entraîne l'indisponibilité des deux emplacements d'exploitation adjacents.

20 L'explication précédente nous dicte les ratios de corrélation suivants entre les défaillances  
21 et les IF°:

- 22 • 1 défaillance = 1 IF, pour tout appareillage électrique, sauf services auxiliaires et
- 23 sectionneurs ;
- 24 • 1 défaillance = 3 IF, pour les sectionneurs.

25 Les données historiques d'IF pour les emplacements d'exploitation autres que les  
26 sectionneurs incluent donc un certain nombre d'IF causées par les défaillances de  
27 sectionneurs. Pour comparer les défaillances aux IF, il faut estimer l'effet des sectionneurs  
28 sur les emplacements adjacents en ajoutant deux fois les défaillances de sectionneurs aux  
29 défaillances des autres appareils. Il est ainsi possible de comparer les défaillances simulées  
30 aux IF réelles de 2016. Cette comparaison est présentée à la figure 3 ci-dessous.

**Figure 3**  
**Corrélation entre les IF réelles et les défaillances simulées pour 2016**



1 En excluant les IF des actifs non-simulés (en gris dans la figure 3), la valeur totale pour les  
 2 défaillances simulées incluant l'effet collatéral des sectionneurs est seulement 3,7% plus  
 3 bas que les IF réelles. Le Transporteur considère cet écart négligeable.

4 Le Transporteur conclut que les valeurs 2016 de défaillances simulées pour l'appareillage  
 5 électrique<sup>17</sup> correspondent aux IF réelles selon les ratios de corrélation déduits  
 6 précédemment, validant ainsi la corrélation entre les défaillances et les IF établie  
 7 théoriquement

### 3.2 Projection des IF évitées (transformateurs et sectionneurs)

8 À partir des défaillances évitées présentées au tableau 2 et des ratios de corrélation  
 9 présentés à la section 3.1, il est possible d'estimer le nombre des IF évitées de 2018 à  
 10 2027.

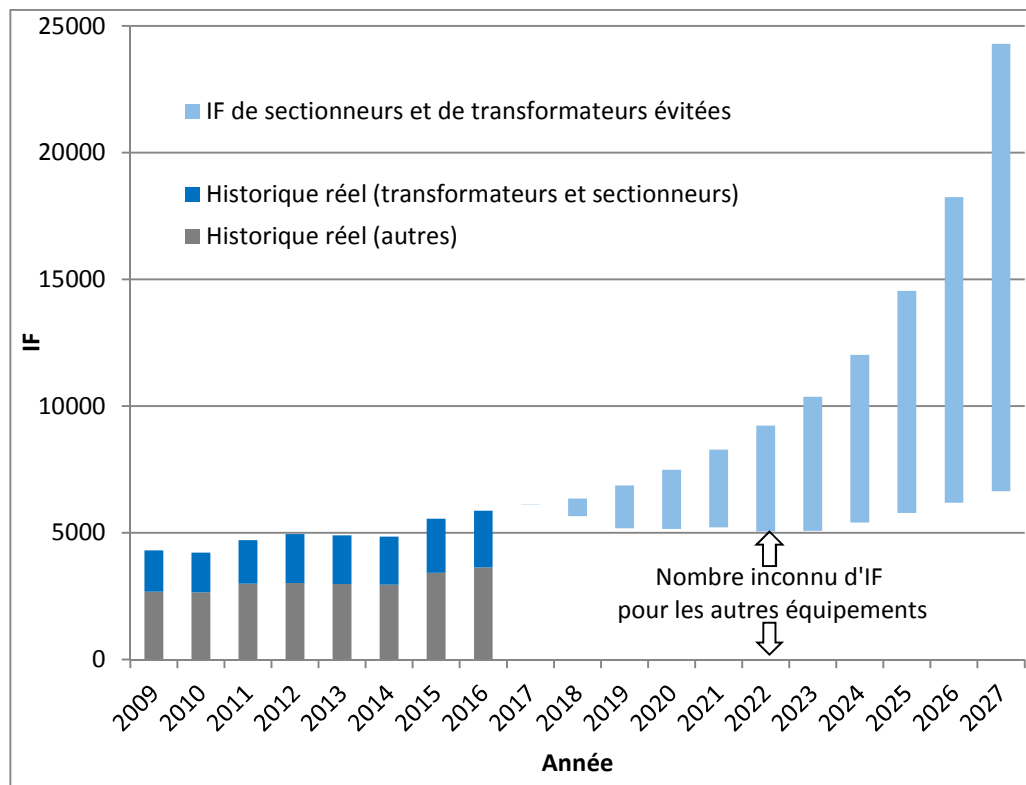
11 Les résultats sont issus du différentiel entre les deux scénarios simulés : un scénario de  
 12 maintien du budget des CNE dédiées à la maintenance et un autre scénario représentant

<sup>17</sup> Pour l'appareillage électrique simulé, excluant les services auxiliaires.

1 une hausse budgétaire pour une maintenance adaptée comme celle de la présente  
2 demande tarifaire.

3 Il est important de rappeler que les résultats présentés sont uniquement ceux attribuables  
4 aux familles des sectionneurs et transformateurs de puissance étant donné l'absence de  
5 courbe EPRI pour les autres familles d'équipements. La figure 4 et le tableau 3 démontrent  
6 qu'en l'absence de budget additionnel dédié à la maintenance, il y aura une importante  
7 augmentation des IF dans le temps et ce, sans compter l'effet additionnel des autres  
8 appareils. Puisque le Transporteur ne connaît pas l'évolution des IF des autres appareils,  
9 celle-ci n'a pas été représentée sur la figure. Seul l'écart entre les deux scénarios de  
10 maintenance a été reflété.

**Figure 4**  
**Projection des IF évitées<sup>18</sup> avec la maintenance additionnelle**



<sup>18</sup> Causées par les transformateurs et les sectionneurs, incluant l'effet des sectionneurs sur les emplacements adjacents

**Tableau 3**  
**Nombre de IF évitées<sup>19</sup> avec la maintenance additionnelle**

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Total
IF évitées	695	1 691	2 329	3 072	4 185	5 287	6 614	8 768	12 056	17 647	<b>62 344</b>

**4 Effet de la dégradation additionnelle sur les interruptions de clients**

**4.1 Corrélation entre les défaillances et les interruptions de clients**

1 Environ 94 % des IF sur le réseau font suite à une mise hors tension en urgence d'un  
 2 appareil effectué par les opérateurs du réseau de transport. Par conséquent, la quasi-totalité  
 3 des défaillances et des IF sont sans impact chez les clients externes du Transporteur.  
 4 Seulement 6 % des défaillances produisent un court-circuit. Pour ces derniers, la mise hors  
 5 tension est effectuée par des systèmes d'automatismes qui entraînent une IF sur une  
 6 portion plus étendue du réseau. Environ les deux tiers de ces déclenchements avec court-  
 7 circuit n'entraînent pas d'interruption du service pour les clients. Ainsi, seul 2 % des  
 8 défaillances entraîne une interruption de service.

9 Le Transporteur constate que l'ensemble des défaillances a augmenté d'environ 5,1 % par  
 10 année au cours des 10 dernières années. Normalement, une hausse des défaillances  
 11 devrait se traduire par une hausse proportionnelle des courts-circuits et donc des  
 12 déclenchements. Or, malgré une hausse des défaillances dans le passé, l'indice de  
 13 continuité – Transport (« IC- Transport ») a été maintenu. Les interruptions de clients  
 14 causées par des défaillances d'appareils sont restées stables à une moyenne de  
 15 77 interruptions par an. Le Transporteur estime donc que d'autres facteurs sont venus  
 16 diminuer la proportion des défaillances entraînant une interruption de clients, ayant pour  
 17 effet de compenser la hausse des défaillances. Parmi ces facteurs, le Transporteur  
 18 mentionne le rehaussement du nombre et de la qualité des alarmes (télésurveillance), le  
 19 remplacement d'installations et de sous-réseaux vétustes et désuets par des installations et  
 20 des réseaux modernes offrant une meilleure redondance et une meilleure automatisation.  
 21 Selon la hausse historique des défaillances entre 2009 et 2016, le Transporteur estime que  
 22 l'effet cumulé des améliorations a permis d'éviter environ 23 interruptions en 2016.

23 Comme mentionné dans le dossier tarifaire 2017<sup>20</sup>, le Transporteur estime de manière  
 24 prudente avoir atteint les limites de ces mesures compensatoires et ne peut plus compter

<sup>19</sup> Idem

1 sur de telles mesures pour compenser une éventuelle hausse supplémentaire de  
2 défaillances.

3 De plus, le Transporteur considère que le nombre d'interruptions est affecté par la  
4 dégradation, mais que la durée moyenne et le nombre moyen de clients touchés par une  
5 interruption sont indépendants de la dégradation.

#### **4.2 Projection des interruptions évitées (transformateurs et sectionneurs)**

##### **4.2.1 Part des interruptions attribuable aux sectionneurs et aux transformateurs**

6 Le Transporteur constate les éléments suivants à partir des données historiques :

- 7 • les sectionneurs ont peu d'effet direct sur les interruptions<sup>o</sup>;
- 8 • les transformateurs ont un effet direct sur les interruptions clients. Les défaillances  
9 se traduisent plus fréquemment en interruption de clients et les durées  
10 d'interruptions pour ces équipements et le nombre de clients affectés sont plus  
11 élevés que pour les autres appareils.

12 Également, le Transporteur constate que pour les interruptions de 1 minute et moins, la  
13 durée de la panne n'est pas significative comparée au préjudice instantané de l'interruption  
14 elle-même. Le gain en client-heure-interrompu (CHI) n'est donc pas applicable.

15 Pour les interruptions de plus de 15 minutes, la durée est déterminante sur le préjudice au  
16 client. Le gain en CHI est donc significatif.

17 Pour les interruptions entre 1 minute et 15 minutes, la fréquence et la durée doivent être  
18 considérées conjointement.

19 À partir des données d'analyses d'interruptions et de déclenchements de 2009 à 2016, le  
20 Transporteur a estimé la part des interruptions qui a été causée par les sectionneurs et les  
21 transformateurs. Par exemple<sup>o</sup>:

- 22 • les transformateurs causent 80 % des interruptions associées à des emplacements  
23 de transformateurs. Le reste étant causé par des appareils connexes<sup>o</sup>;
- 24 • les sectionneurs causent 100 % des interruptions associées à des emplacements  
25 de sectionneurs, mais également respectivement 5 %, 10 % et 50 % des

---

<sup>20</sup> R-3891-2016, notes sténographiques du 18 novembre 2016, p. 173, lignes 23 à 25.

1 interruptions associées à des emplacements de disjoncteurs, départs de lignes et  
 2 jeux de barres.

3 Le Transporteur a pris comme hypothèse que l'évolution des interruptions causées par des  
 4 défaillances de sectionneurs et de transformateurs sera proportionnelle à l'évolution du  
 5 nombre de défaillances.

6 Le Transporteur a ensuite appliqué aux interruptions historiques causées par les  
 7 sectionneurs et les transformateurs une évolution proportionnelle à celle calculée pour les  
 8 défaillances. Le Transporteur obtient ainsi une estimation du nombre d'interruptions  
 9 évitées<sup>21</sup> de 2018 à 2027.

10 Rappelons qu'en l'absence de courbe de dégradation pour les autres équipements, il est  
 11 impossible pour le Transporteur de quantifier l'effet de leurs défaillances futures sur les  
 12 interruptions clients.

**4.2.2 Évolution prévue du nombre d'interruptions de 2018 à 2027**

13 Le tableau 4 présente le nombre d'interruptions de clients évitées par l'ajout de maintenance  
 14 pour la période 2018 à 2027, calculé par type d'emplacement d'exploitation comme expliqué  
 15 à la section précédente.

**Tableau 4**  
**Écart moyen entre les scénarios\* en nombre d'interruptions**

	Historique 2009-2016			Écart		
	Nombre d'interruptions	Clients affectés	CHI	Nombre d'interruptions	Clients affectés	CHI
<= 1 minute	18	122 053	N/A	-4	-28 643	N/A
> 1 minute et <= 15 minutes	28	157 907	20 694	-15	-65 651	-7 510
> 15 minutes	61	357 409	408 946	-31	-217 894	-204 871
<b>TOTAL sur 10 ans</b>	<b>1 059</b>	<b>6°373°689</b>	<b>4°095°176</b>	<b>-502</b>	<b>-3°121°883</b>	<b>-2°123°811</b>

\* Maintien du budget de CNE dédiées à la maintenance versus une hausse budgétaire pour une maintenance adaptée comme celle demandée dans la présente demande tarifaire

<sup>21</sup> Causées par les sectionneurs et transformateurs.

1 L'ajout de maintenance devrait théoriquement permettre d'éviter environ 502 interruptions  
2 de 2018 à 2027, soit plus de 2 millions de CHI.

## **5 Conclusion**

3 Aux fins de présenter une analyse coûts-bénéfices de la maintenance additionnelle sur  
4 10 ans, basée sur une quantification des coûts évités par la réduction des IF, le  
5 Transporteur doit émettre certaines hypothèses méthodologiques afin de mesurer l'effet  
6 d'un accroissement des budgets de maintenance sur les défaillances, les IF et les  
7 interruptions de clients dans le temps. Il démontre, dans le présent document, qu'il existe  
8 une relation inverse entre l'injection de maintenance supplémentaire et la dégradation, les  
9 défaillances, les IF et les interruptions.

10 L'analyse coûts-bénéfices de la maintenance additionnelle sur 10 ans demandée par la  
11 Régie dans sa décision D-2017-021 abordée à la pièce HQT-3, Document 1.2 utilisera les  
12 hypothèses développées dans la présente pièce pour démontrer que les coûts évités par la  
13 réduction des IF des sectionneurs et des transformateurs de puissance sont supérieurs aux  
14 besoins financiers demandés pour effectuer la maintenance additionnelle sur l'ensemble du  
15 parc d'actifs du Transporteur. Cette analyse tiendra également compte de l'estimation des  
16 coûts directs évités de l'ordre de 220 M\$ sur 10 ans pour le volet dégradation additionnelle  
17 calculée à partir des volumes estimés de défaillances et du surcoût par intervention et  
18 documentée à la section 2.4 de la présente pièce.