

**HYPOTHÈSES TECHNIQUES + CALCUL DES BÉNÉFICES LIÉS À LA DÉGRADATION ADDITIONNELLE DES ÉQUIPEMENTS ÉVITÉE PAR LA MAINTENANCE ADDITIONNELLE**

# Analyse coûts-bénéfices de la maintenance additionnelle

Hydro-Québec TransÉnergie | 22 septembre 2017

# Ordre du jour

## > Contexte

- Rappel du besoin de mise à niveau du budget de maintenance
- Suivi demandé par la Régie

## > Approche proposée et résultat

- Approche proposée pour l'analyse coûts-bénéfices
- Résultat sommaire

## > Présentation du Transporteur

## > Présentation de Roland Berger

## > Conclusion

Contexte

# Rappel du besoin de mise à niveau du budget de maintenance (dossier R-3981-2016)

- > Le Transporteur demande un budget additionnel de 45 M\$ pour la maintenance compte tenu de la croissance anticipée du nombre d'indisponibilités forcées (IF) et ses effets sur l'exploitabilité et la maintenabilité du réseau ainsi que sur la portée de l'enveloppe budgétaire affectée à la maintenance.
  - Ce budget qui tient compte de la capacité de réalisation du Transporteur permet de contrôler le risque, notamment mesuré par l'évolution des IF, par la réalisation d'un accroissement des activités de maintenance systématique, de la poursuite des interventions de maintenance conditionnelle ciblée et d'une hausse des activités de maîtrise de la végétation<sup>1</sup>.
  
- > Pour justifier ce budget additionnel récurrent, le Transporteur présente :
  - une analyse coûts-bénéfices sur 10 ans de différents scénarios de réalisation des activités de maintenance (approche CIRANO) permettant de conclure en la supériorité d'une mise à niveau de la maintenance, associée à des investissements en pérennité conformes à la Stratégie de pérennité, pour contrôler l'évolution du risque à impacts raisonnables sur les revenus requis<sup>2</sup> ;
  - un calcul préliminaire des coûts évités des effets perturbateurs des IF qui démontre la rentabilité de la maintenance additionnelle demandée<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> R-3981-2016, HQT-1, Document 1, section 3.1

<sup>2</sup> R-3981-2016, HQT-3, Document 1.1, sections 5 et 7.

<sup>3</sup> R-3981-2016, HQT-15, Document 2.1.

# Suivi demandé par la Régie (décision D-2017-021)

- > [62] « (...) La Régie est d'avis que **la preuve du Transporteur a démontré des enjeux réels liés aux IF** mais partage, néanmoins, l'avis de l'intervenant à l'effet que le Transporteur doit approfondir son analyse coûts-bénéfices de la maintenance additionnelle. »
- > [65] « La Régie apprécie les efforts du Transporteur afin de calculer les coûts évités des effets perturbateurs liés aux IF. **Elle juge que ces calculs, bien que préliminaires, lui permettent d'être rassurée quant au caractère juste et raisonnable de la somme demandée** pour déployer pleinement son modèle de gestion des actifs (MGA). »
- > [66] Toutefois, la Régie **demeure prudente**, compte tenu des éléments de preuve qui demeurent à compléter. Elle considère que la preuve au dossier fournit un ordre de grandeur quant aux externalités engendrées par un arrêt du service de transport à la suite d'une IF majeure sur le réseau.
- > [67] En conséquence, **la Régie autorise, exclusivement pour l'année 2017, un montant de 45 M\$** à des fins de maintenance additionnelle.
- > [68] **La Régie requiert du Transporteur** qu'il dépose, dans le cadre de son prochaine dossier tarifaire, une preuve comportant les éléments de suivi proposés par le Transporteur en audience, à savoir :
  - (...)
  - **une analyse coûts-bénéfices de la maintenance additionnelle sur 10 ans, basée sur une quantification des coûts évités par la réduction des IF, en identifiant les hypothèses méthodologiques et les résultats de l'analyse.**

Approche proposée et résultat

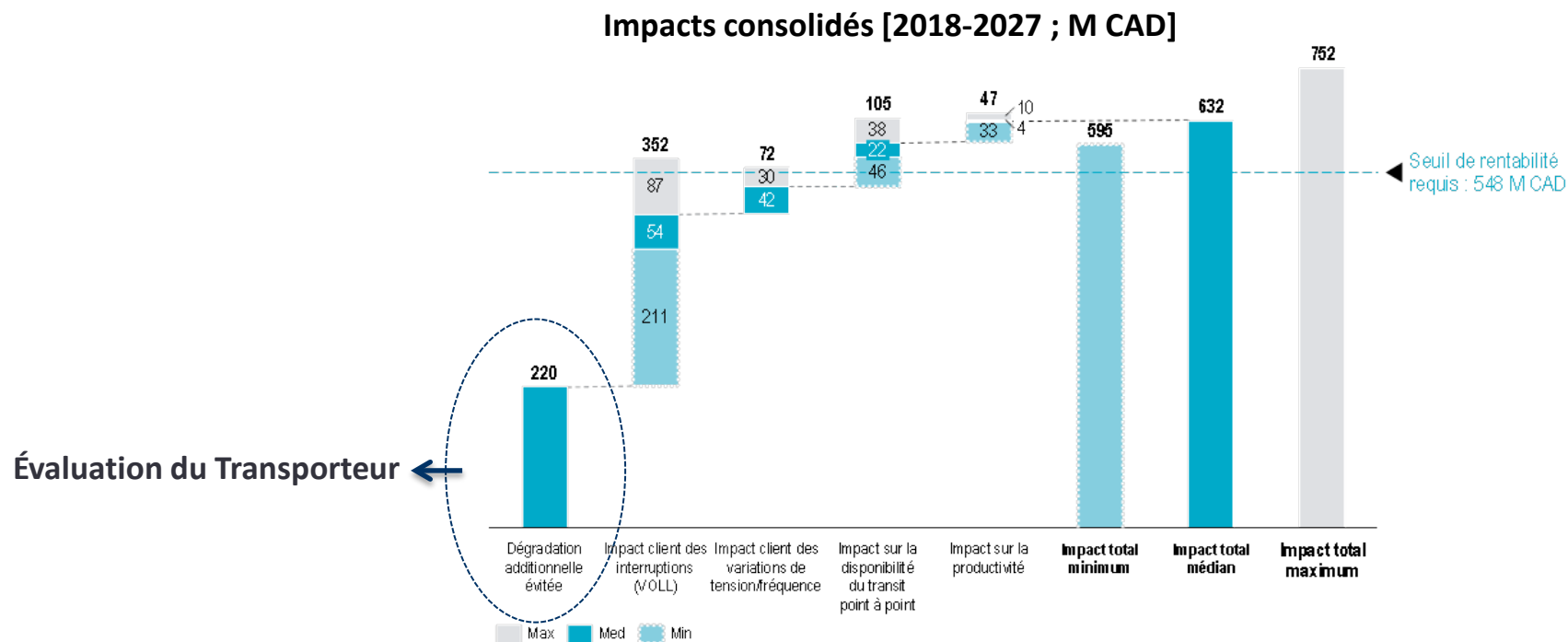


# Approche proposée pour l'analyse coûts-bénéfices

- > Quantification des impacts monétaires sur un horizon de 10 années entre deux scénarios de maintenance :
  - Scénario de référence : maintien du budget de maintenance au niveau de 2016
  - Scénario étudié : maintenance additionnelle correspondant à un montant de 548 M\$ composé de :
    - Montant annuel récurrent de 54 M\$, évalués sur un horizon de 10 ans ;
    - Montant ponctuel pour la maintenance conditionnelle prioritaire de 8 M\$ pour l'année 2018.
- > Rentabilité calculée par différence entre le coût incrémental de maintenance et une estimation des bénéfices de cette maintenance additionnelle sur un horizon de 10 ans
  - Coûts de maintenance couvrant les besoins pour l'ensemble des familles d'équipements (100 % aux charges)
  - Bénéfices calculés uniquement pour deux familles d'équipements (transformateurs et sectionneurs) sur la base d'hypothèses conservatrices et contre-vérifiés par différentes méthodologies
  - Résultats présentés en dollars constants 2017
- > Analyse réalisée en deux étapes :
  - Transporteur : **Hypothèses techniques** sur les impacts de la maintenance additionnelle sur le nombre de défaillances, d'indisponibilités forcées et d'interruptions de clients évitées ainsi que l'évaluation des coûts directs de réparation évités (HQT-3, Document 1.1) ;
  - Roland Berger : **Analyse coûts-bénéfices** de la maintenance additionnelle sur 10 ans à partir des intrants du Transporteur (HQT-3, Document 1.2).

# Résultat sommaire

- > Coût additionnel d'un scénario de maintenance déterminé par le MGA par rapport à un scénario de maintien du budget de maintenance de 2016 inférieur à l'estimation du coût d'inconvénient pour Hydro-Québec, ses clients et pour la société québécoise dans son ensemble.
- > Analyse suffisamment précise et rigoureuse pour évaluer le caractère juste et raisonnable des sommes demandées.





# Présentation du Transporteur

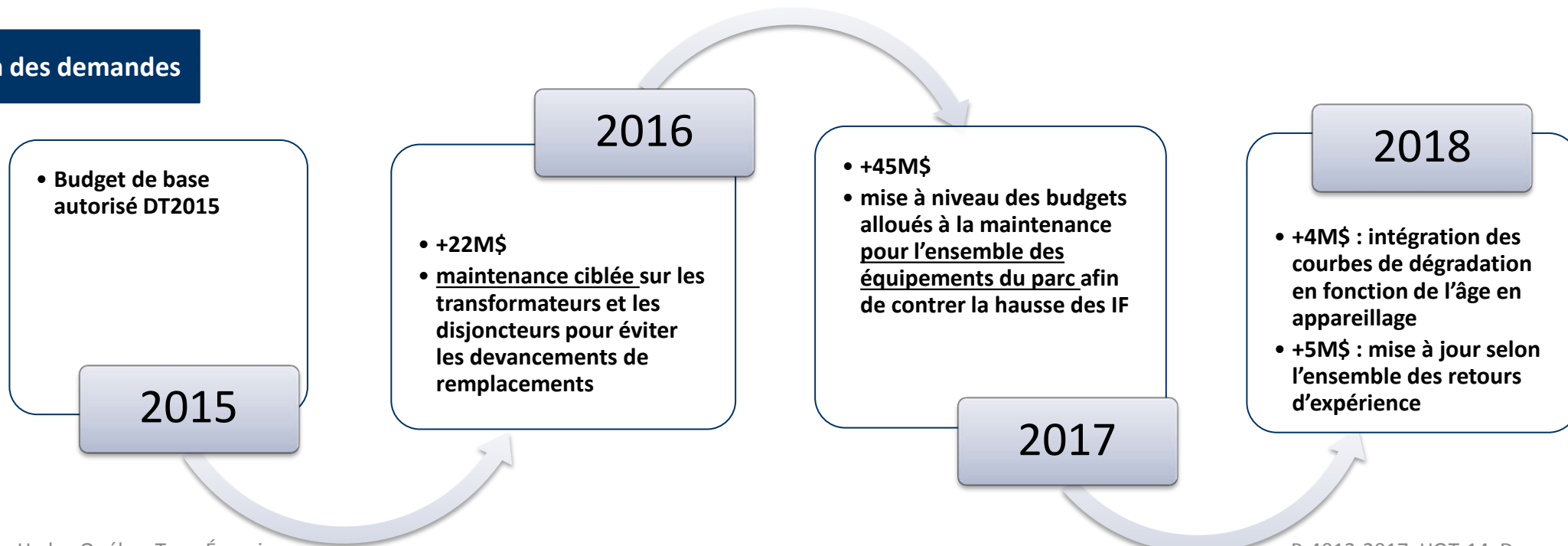
- > **Évolution des besoins additionnels en maintenance demandés**
- > **Rappel des notions techniques**
- > **Hypothèses et méthodes de calculs**
  - Défaillances évitées
  - Indisponibilités forcées évitées (IF)
  - Interruptions de clients évitées (CHI)
  - Coûts directs évités de la dégradation additionnelle (réparations évitées)
- > **Complément d'information demandé par la Régie**
- > **Conclusion**

Évolution des besoins additionnels  
en maintenance demandés

# Évolution des besoins additionnels de maintenance

- > D-2017-021 : Autorisation par la Régie d'un montant supplémentaire de 45 M\$ non récurrent pour pallier l'effet de la dégradation additionnelle pour tous les actifs du Transporteur.
  - Montants requis pour maintenir le risque de défaillance à un niveau acceptable tel que défini par la stratégie de pérennité
- > R-4012-2017 : À la suite de mises à jour au niveau du MGA, demande d'un budget additionnel récurrent de maintenance totalisant 54 M\$, soit 9 M\$ de plus que demandé en 2017.

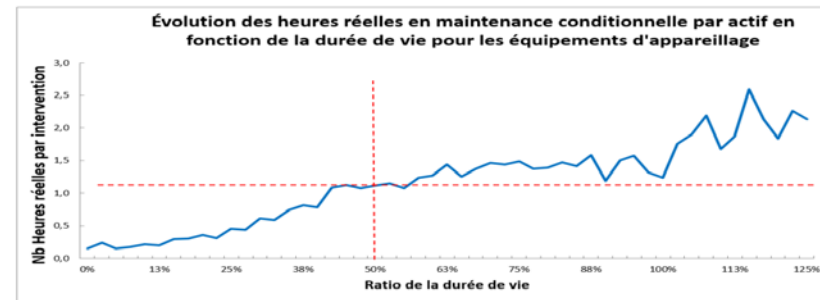
## Évolution des demandes



# Évolution des besoins additionnels de maintenance

+ 9 M\$ récurrents

Intégration des courbes de dégradation en fonction de l'âge afin de refléter le vieillissement du parc sur le niveau d'intervention en correctif pour la spécialité Appareillage<sup>1</sup>



4 M\$

Mises à jour des arbres décisionnels, des orientations et des coûts 2016



Intégration de nouvelles normes en Automatismes  
Changement de la fréquence d'entretien :  
Transformateurs de mesure, Protection des jeux de barres 44 kV, Système de commande disjoncteurs PRSQ, Oscilloperturbograpes de type BEN 6000



5 M\$

<sup>1</sup> Une erreur s'est glissée dans la section 3.5 de la pièce HQT-6, Document 2 : Le montant de 4 M\$ de dégradation additionnelle est prévu pour l'ensemble des équipement en Appareillage électrique et pas seulement pour les sectionneurs et les transformateurs de puissance.

# Évolution des besoins additionnels de maintenance

8 M\$ ponctuel pour 2018

- > Priorisation d'interventions non récurrentes en maintenance conditionnelle sur certains éléments du réseau ayant un impact sur la sécurité, par exemple :
  - Fuites d'huiles des unités de mesure,
  - Points chauds des sectionneurs,
  - Programmes d'inspection des isolateurs de jeux de barres.

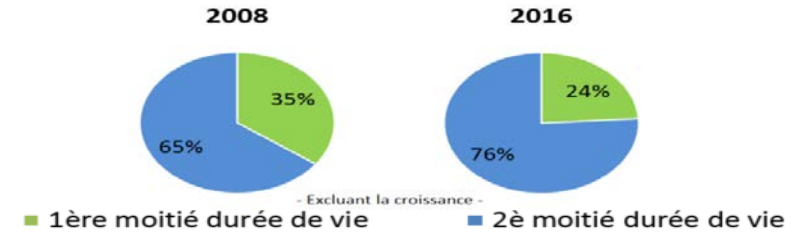
# Rappel des notions techniques

# Rappel des notions techniques

Constats généraux de 2008 à 2016

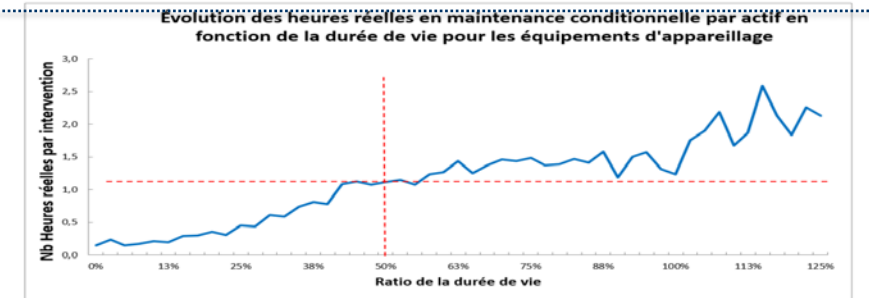
1

La stratégie de pérennité de 2008 propose un vieillissement contrôlé du parc d'actif.



2

Cette hausse de l'âge moyen accélère la dégradation, ce qui nécessite plus de maintenance préventive.



3

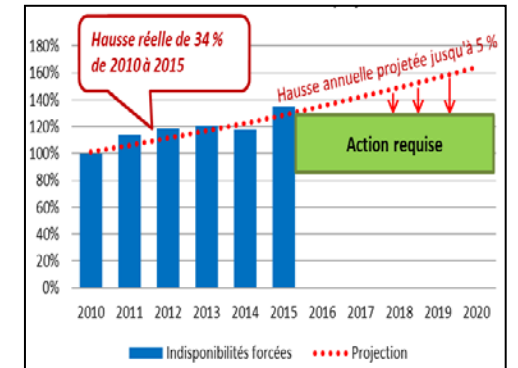
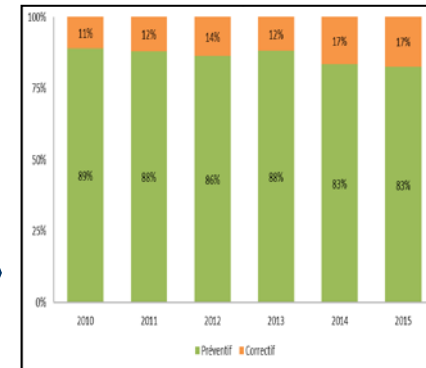
La maintenance préventive requise augmente alors que les ressources restent stables, ce qui génère l'accumulation d'un retard.

Constats en 2016 :

Important retard accumulé en maintenance

Proportion de travaux en correctif en hausse (effet spirale)

Accroissement important des indisponibilités forcées (IF)



Source: R-3981-2016, HQT-3, Documents 1 et 1.1

R-4012-2017, HQT-14, Document 1.1

# Rappel des notions techniques

## Résumé des concepts

### 4 Il existe un lien entre l'âge d'un actif, sa dégradation, ses défaillances futures et éventuellement son indisponibilité.

#### 1. L'âge accélère la dégradation

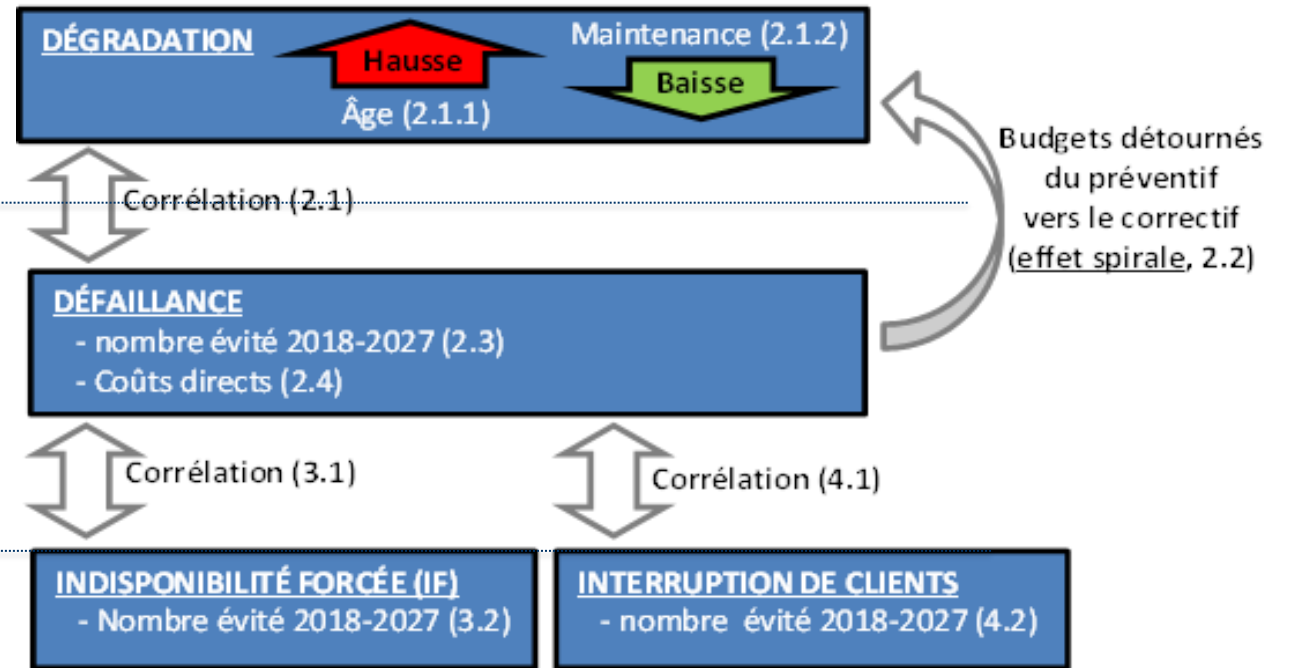
La maintenance préventive permet de diminuer ou ralentir la dégradation

#### 2. Une défaillance partielle apparaît éventuellement. Si cette défaillance partielle n'est pas détectée ET réparée<sup>1</sup>, elle dégénérera tôt ou tard en défaillance complète (défaillance).

#### 3. La hausse des réparations<sup>2</sup> diminue les budgets disponibles en préventif (effet spirale)

#### 4. Une défaillance entraîne une ou plusieurs indisponibilités

#### 5. Certaines défaillances entraînent une interruption des clients



Les parenthèses dans le schéma correspondent aux sections de la pièce HQT-3, Document 1.1

<sup>1</sup> Maintenance préventive

<sup>2</sup> Maintenance corrective ou remplacement de l'actif, réalisés à coût plus élevé

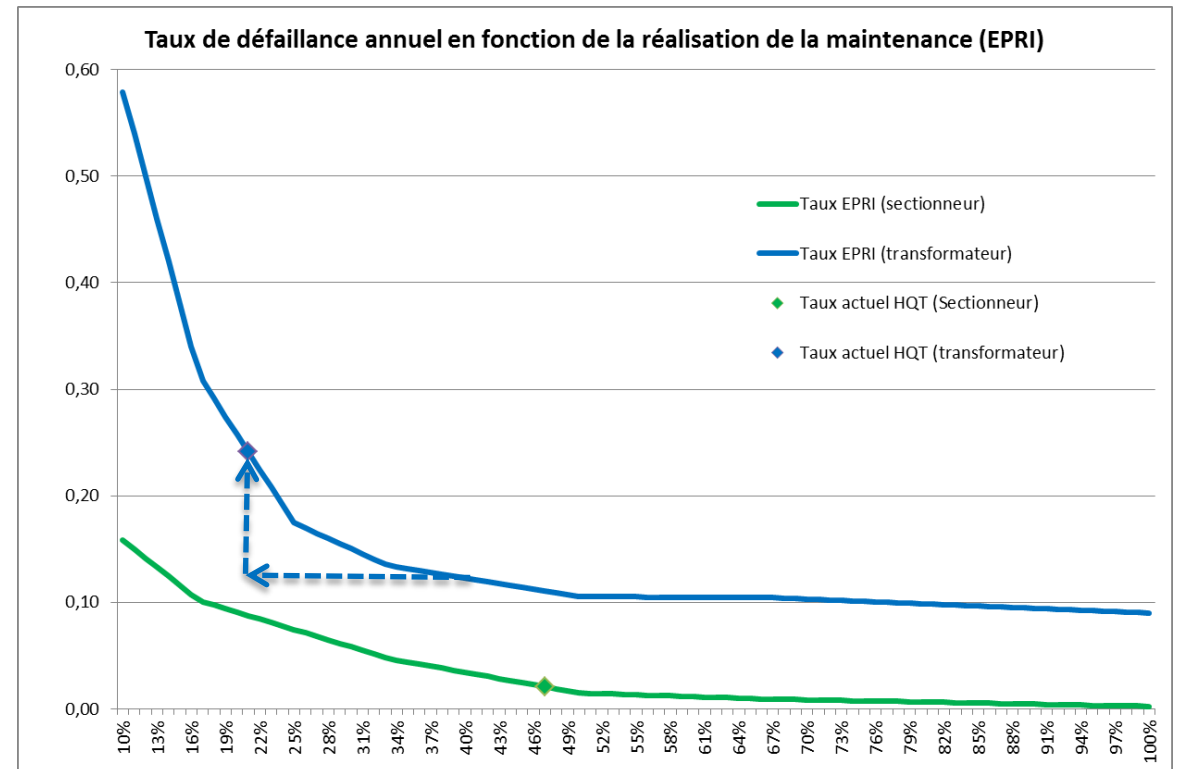


# Rappel des notions techniques

## Lien entre la dégradation accumulée (retard de maintenance) et la fiabilité (taux de défaillance)

- > Il existe des études qui permettent de faire le lien entre la **dégradation et la fiabilité** ;
- > Ces études ont été réalisées par un organisme international EPRI<sup>1</sup>, qui en a dérivé des courbes de taux de défaillance en fonction du retard de maintenance ;
- > Ces courbes permettent de quantifier la probabilité de défaillance potentielle en l'absence d'une maintenance adéquate ;
- > Ces courbes peuvent être utilisées uniquement pour les transformateurs et les sectionneurs ;
- > Selon cette théorie, la hausse historique des IF s'explique par l'accumulation d'un retard de maintenance (en pointillé sur le graphique)

### Courbes maintenance/défaillance de l'EPRI

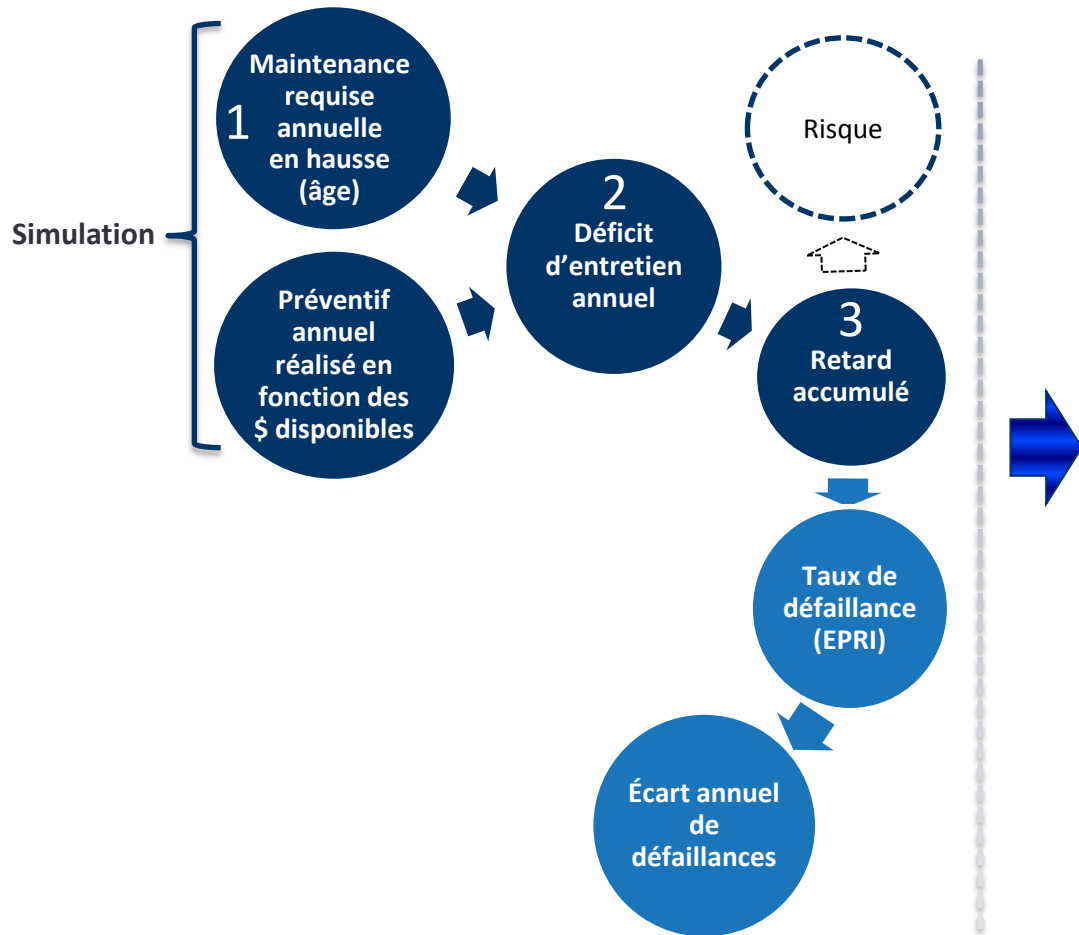


<sup>1</sup> Préventive Maintenance Basis Database de l'EPRI (« Electric Power Research Institute ») provient de l'industrie des centrales nucléaires, hydrauliques et fossiles

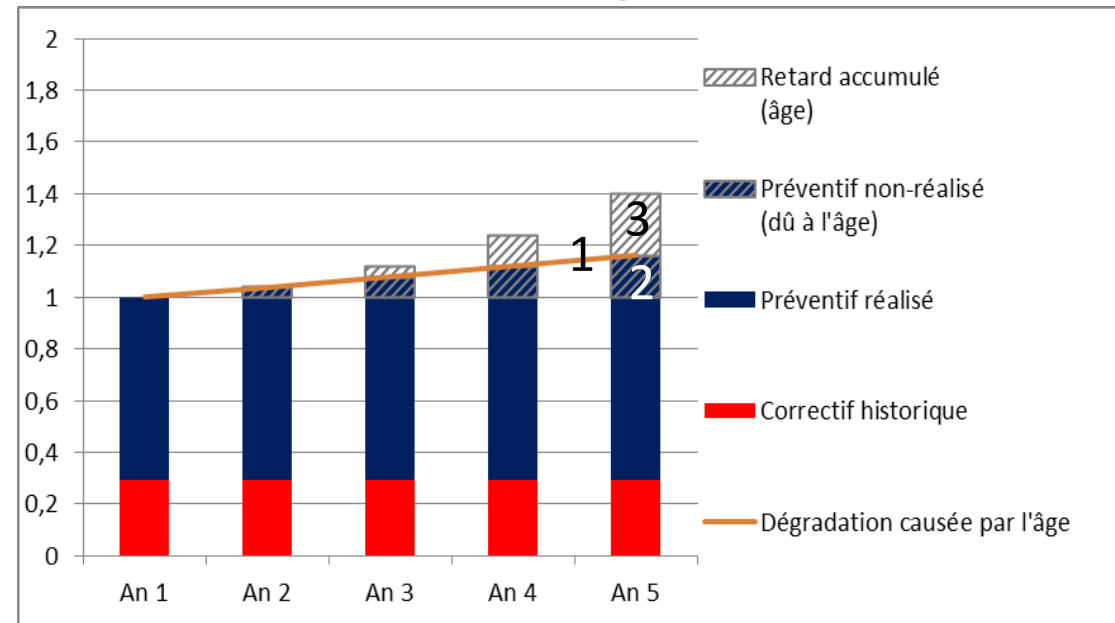
<sup>2</sup> Données applicables uniquement aux sectionneurs et aux transformateurs de puissance du Transporteur

# Rappel des notions techniques

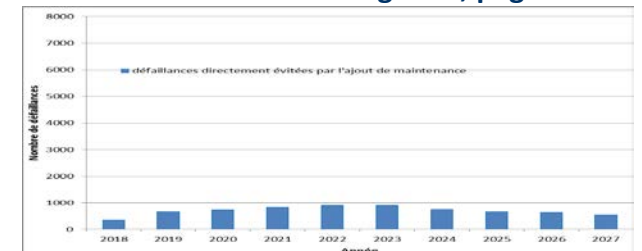
## Accumulation d'un retard et hausse des défaillances



Cas de figure

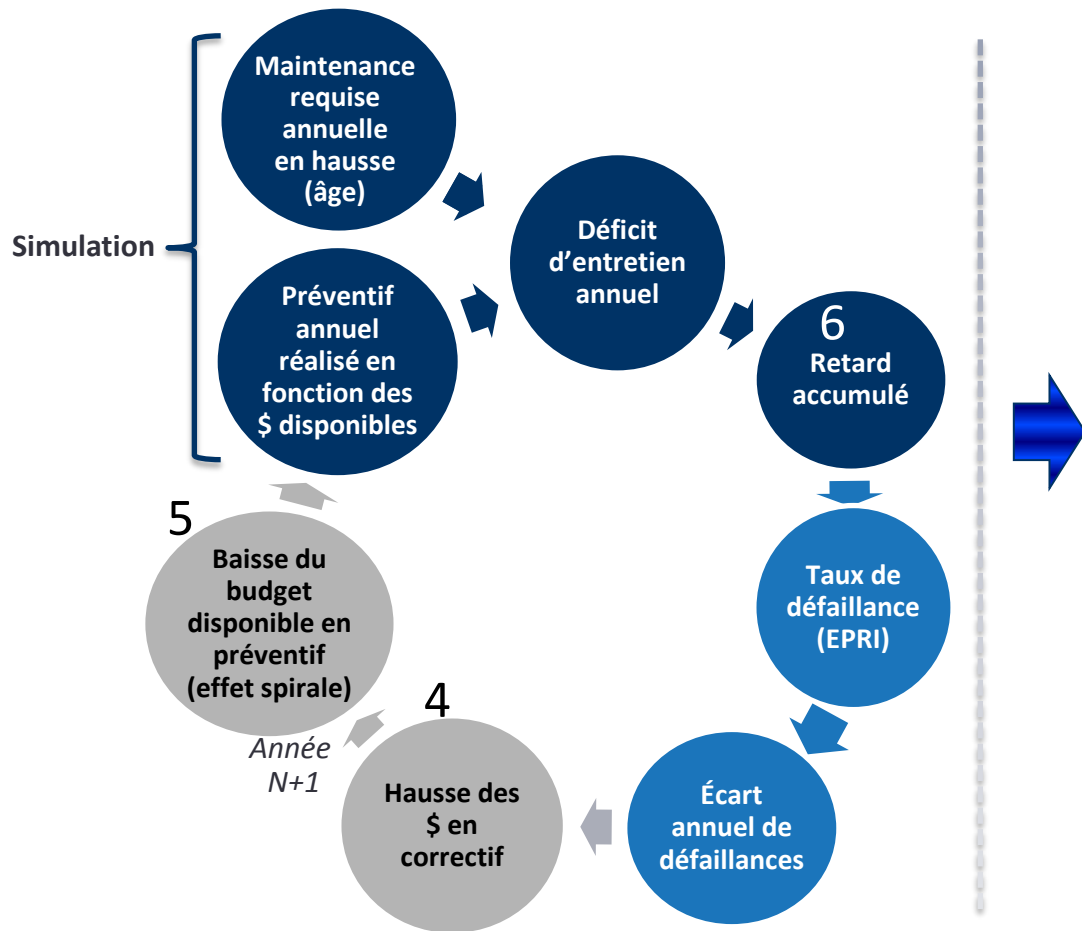


Défaillances estimées – Figure 2, page 14

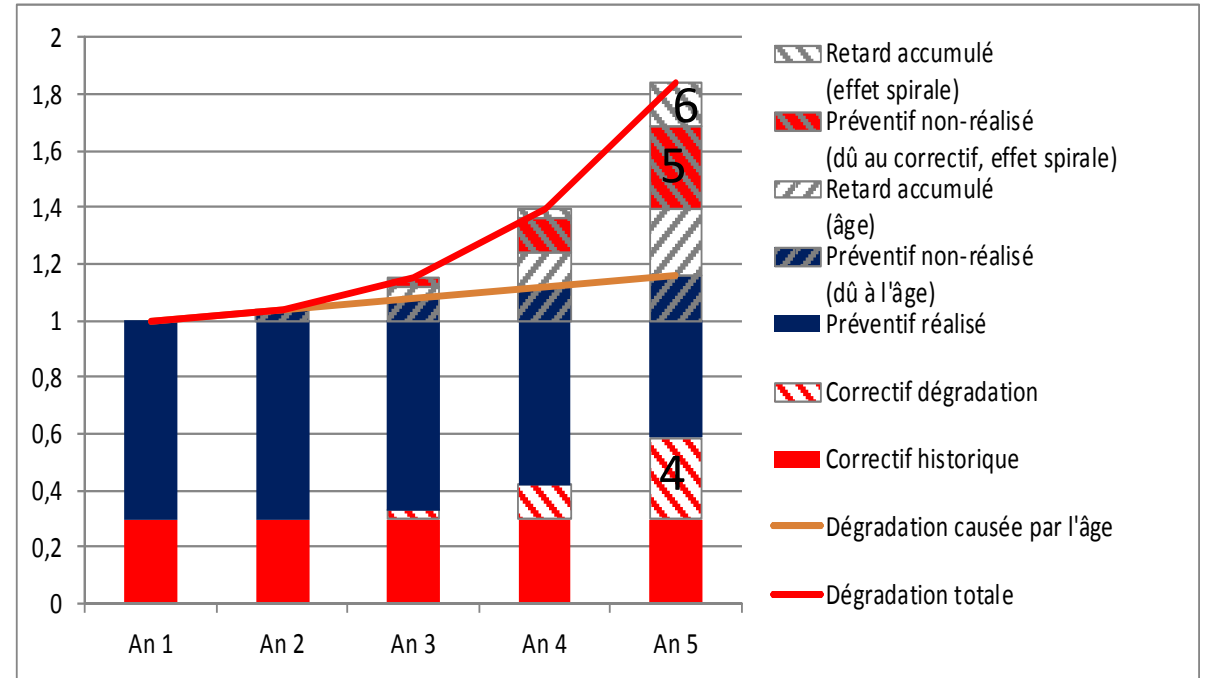


# Rappel des notions techniques

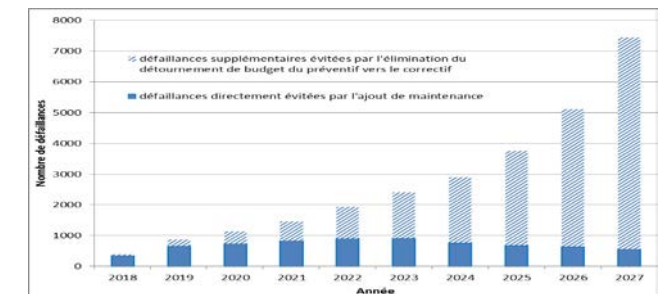
## Effet spirale



## Cas de figure



## Défaillances estimées – Figure 2, page 14



# Défaillances évitées

Hypothèses et méthode de calcul

Écart entre les scénarios sur 10 ans

pour les transformateurs et les sectionneurs seulement

# Défaillances évitées

## Hypothèse

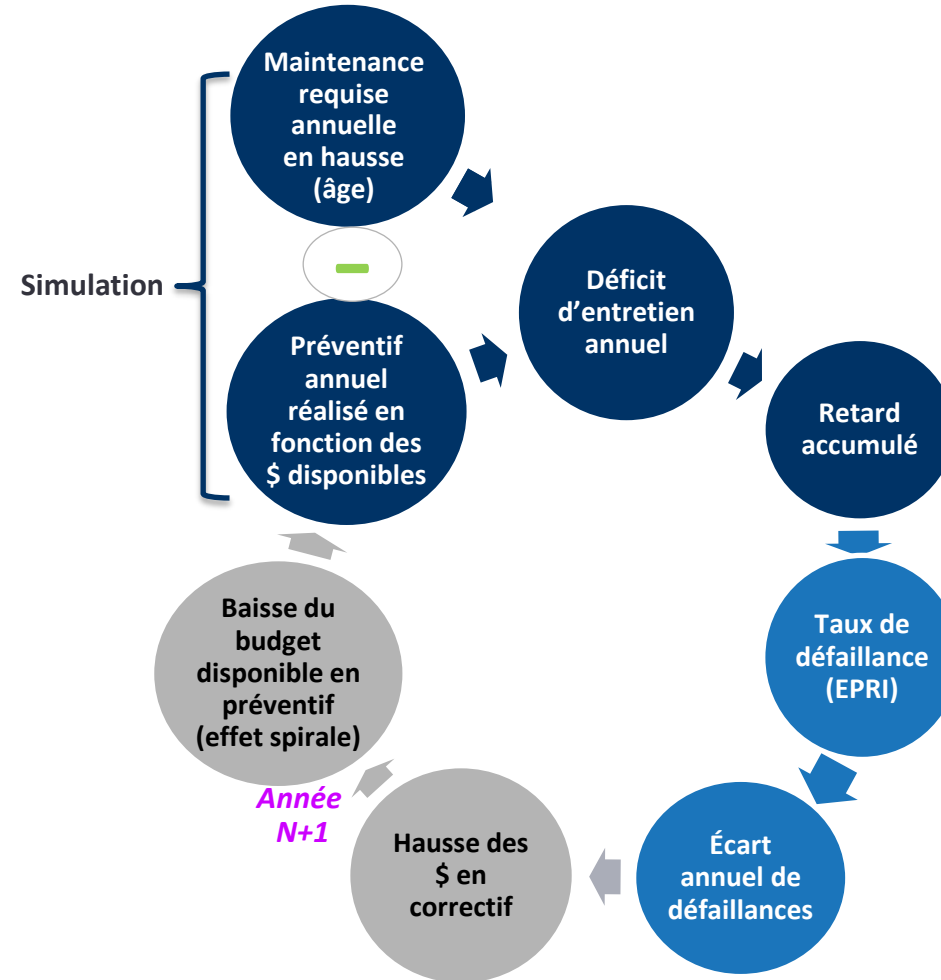
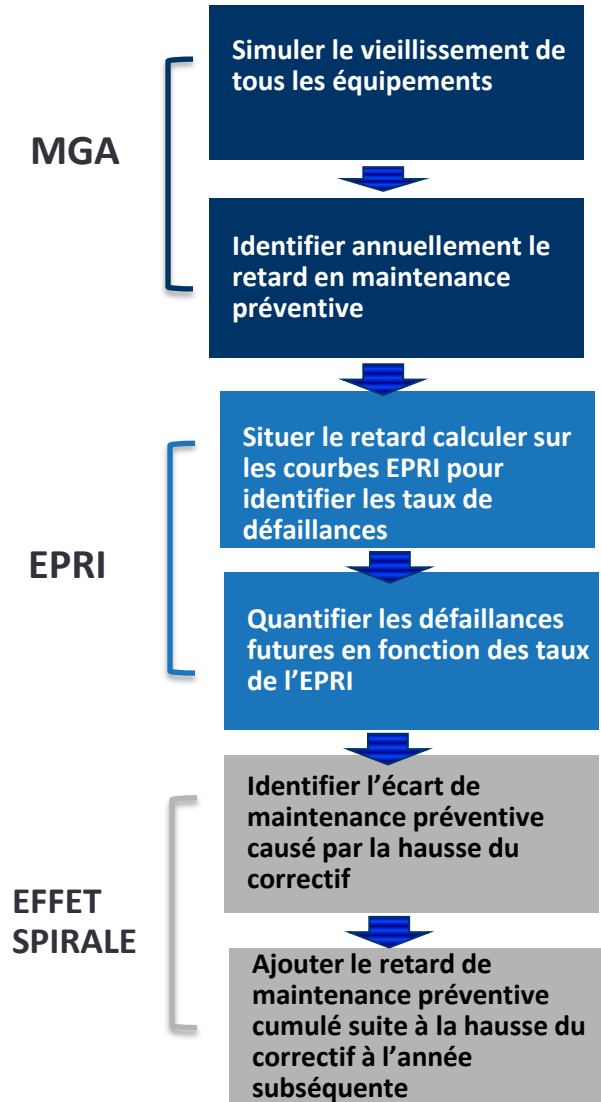
- > Les courbes de l'EPRI des sectionneurs et transformateurs s'appliquent aux appareils du Transporteur

## Validations

- > Corrélation établie par une référence reconnue dans le domaine (EPRI)
- > Approche pour utiliser cette corrélation validée par l'Institut de Recherche d'Hydro-Québec (IREQ)
- > Analyse des valeurs extrêmes des courbes de l'EPRI avec les valeurs estimées du Transporteur pour les appareils neufs et pour les défaillances totales (partielles + complètes)
- > Comparaison de la tendance simulée avec les données historiques

# Défaillances évitées

## Méthode de calcul



# Indisponibilités forcées évitées (IF)

Hypothèses et méthode de calcul

Écart entre les scénarios sur 10 ans

pour les transformateurs et les sectionneurs seulement

# Indisponibilités forcées évitées (IF)

## Hypothèse

- > Corrélation entre les défaillances et les IF déduite à partir de la fonction des équipements sur le réseau.
  - 1 défaillance génère 3 IF pour les sectionneurs
  - 1 défaillance génère 1 IF pour tous les autres équipements d'appareillage électrique
  - non-établie pour les autres actifs

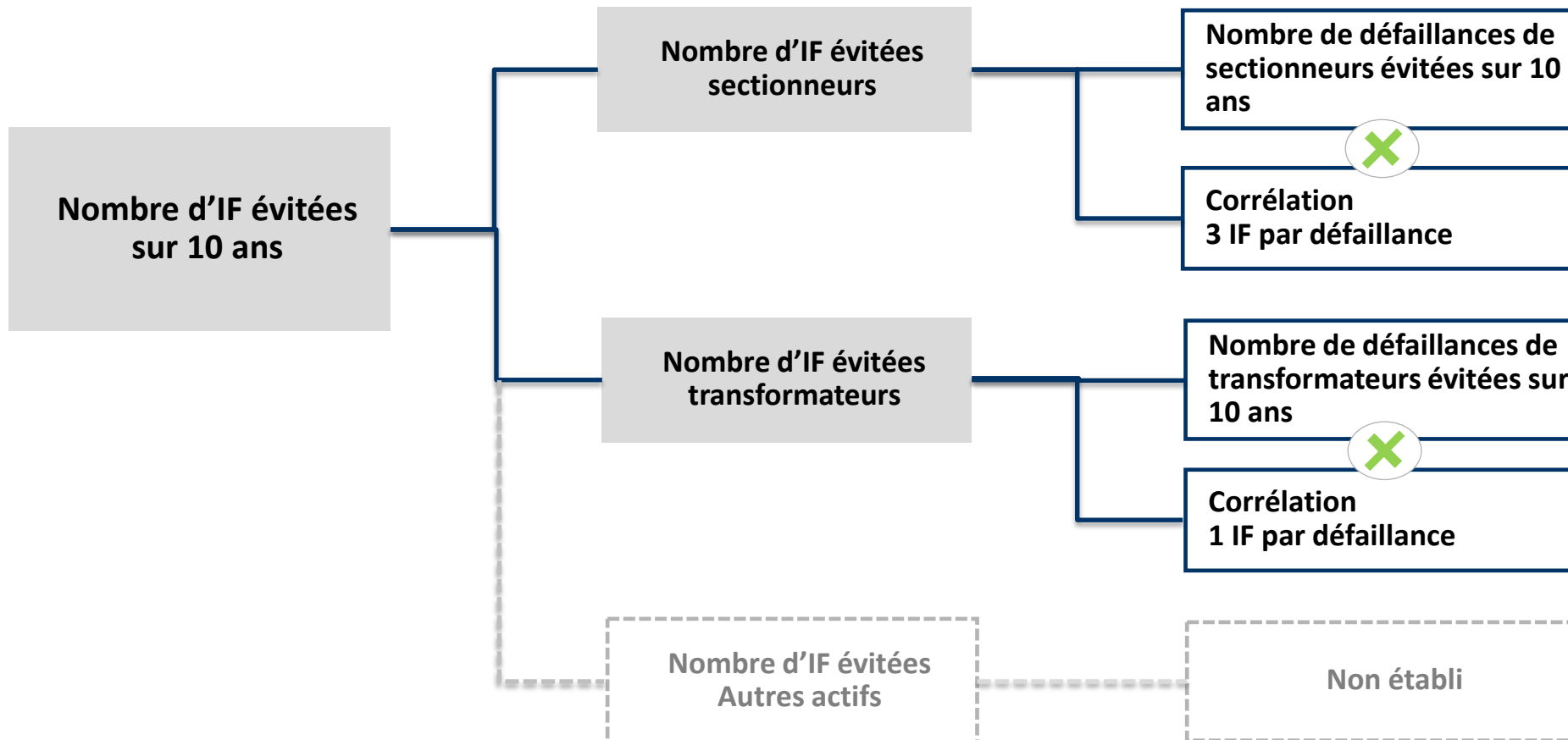
## Validation

- > Confirmation de l'hypothèse à partir de l'historique des IF réels de 2009 à 2016 et du correctif simulé pour 2016 (basé sur l'historique réel de 2008 à 2016) pour l'appareillage électrique.



# Indisponibilités forcées évitées (IF)

## Méthode de calcul



# Interruptions de clients évitées (CHI)

Hypothèses et méthode de calcul

Écart entre les scénarios sur 10 ans

pour les transformateurs et les sectionneurs seulement

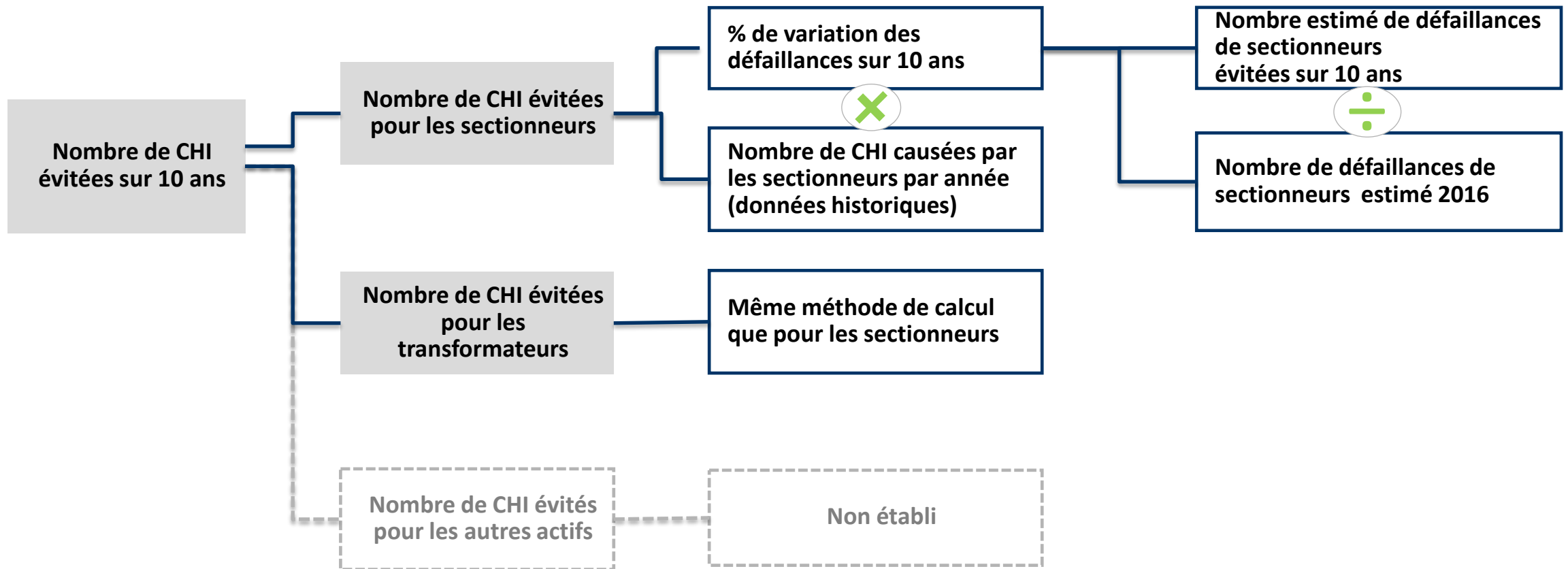
# Interruptions de clients évitées (CHI)

## Hypothèses

- > Seules les interruptions causées par des défaillances de sectionneurs et de transformateurs de puissance ont été considérées.
- > Les interruptions de sectionneurs varieront dans les mêmes proportions que les défaillances de sectionneurs. Idem pour les transformateurs.
- > Les client-heure-interrompu (CHI) moyens par interruption seront stables
  - Le nombre moyen de clients affectés demeurera le même que la moyenne historique
  - La durée moyenne d'interruption demeurera la même que la moyenne historique

# Interruptions de clients évitées (CHI)

## Méthode de calcul



# Coûts directs évités de la dégradation additionnelle

Hypothèses et méthode de calcul

Écart entre les scénarios sur 10 ans

pour les transformateurs et les sectionneurs seulement

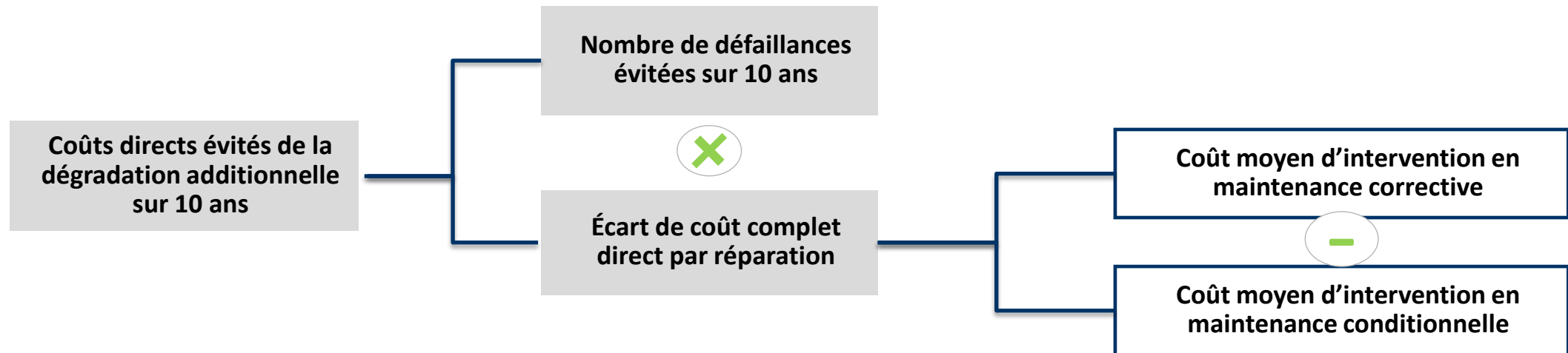
# Coûts directs évités de la dégradation additionnelle

## Hypothèses

- > L'écart entre les scénarios est la maintenance additionnelle.
  - Par conséquent, il est présumé que chaque défaillance complète évitée est le résultat d'une défaillance partielle réparée de manière préventive.
  - Pour chaque défaillance évitée, le scénario de référence (+0 M\$) prévoit une intervention en correctif tandis que le scénario de maintenance adaptée prévoit une intervention en conditionnel.
- > L'écart entre les réparations préventives et les remplacements de bris majeurs n'a pas été considéré.

# Coûts directs évités de la dégradation additionnelle

## Méthode de calcul



# Résumé des résultats

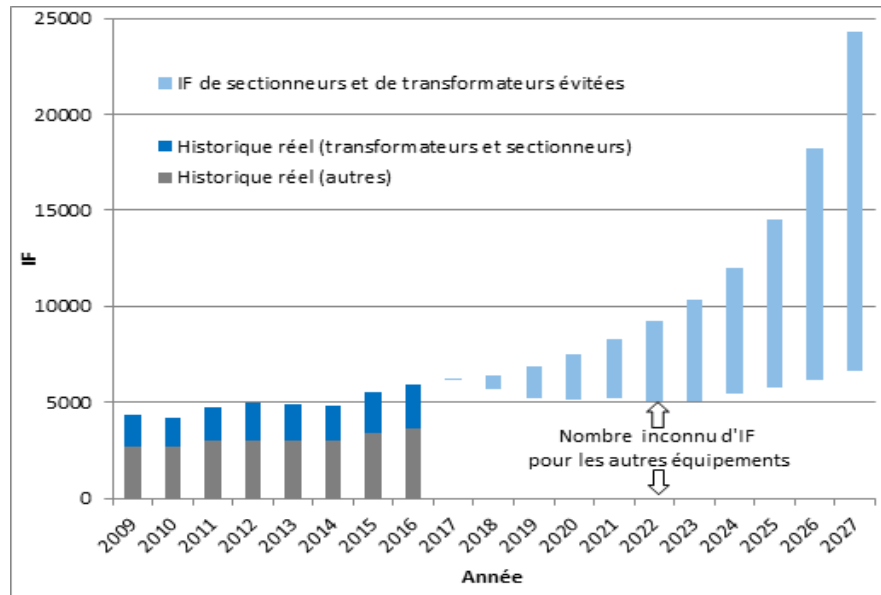
Écart entre les scénarios sur 10 ans

pour les transformateurs et les sectionneurs seulement



# Résumé des résultats

- > Écart entre les scénarios sur dix ans pour les transformateurs de puissance et les sectionneurs
- > Intrants à l'analyse coûts-bénéfices de Roland Berger



## Écart en défaillances

2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Total
393	868	1 131	1 469	1 946	2 403	2 898	3 759	5 113	7 445	27 426

## Écart en IF

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

## Écart en client-heure-interrrompu (CHI)

2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Total
36 054	75 174	94 325	121 294	157 360	191 062	223 722	284 833	383 755	556 231	2 123 810

## Écart en coûts directs évités de la dégradation additionnelle

2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Total
12 M\$	13 M\$	14 M\$	16 M\$	18 M\$	20 M\$	22 M\$	27 M\$	33 M\$	45 M\$	220 M\$

# Complément d'informations demandé par la Régie

Lettre du 11 septembre 2017

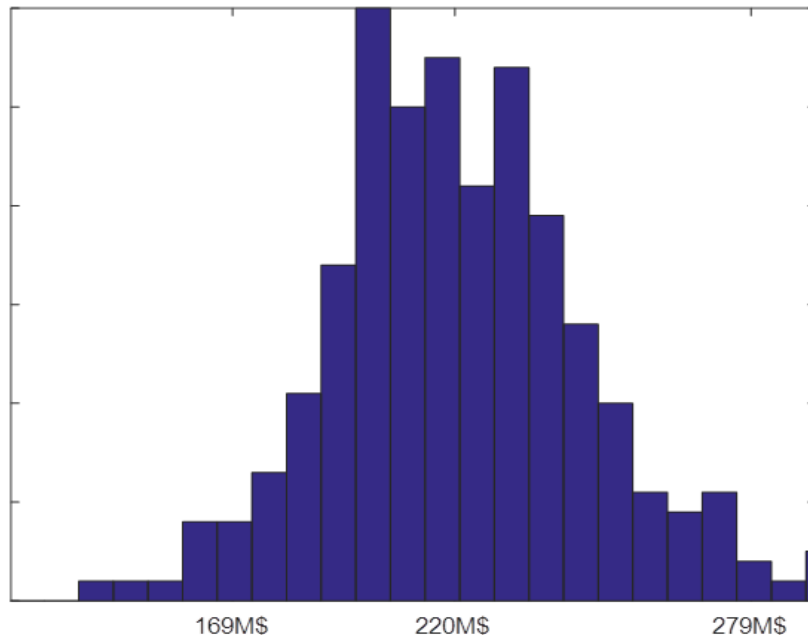
# Complément d'informations

Sections		Demands additionnelles demandées par la Régie	Démonstration
1.1	<b>Méthodologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Actualisation des résultats</li> <li>b) Résultats actualisés et taux utilisé</li> <li>c) Impact sur les coûts évités selon des scénarios MIN-MED-MAX</li> <li>d) Flux monétaires selon les scénarios MIN-MED-MAX</li> </ul>	<p>Diapo 37 Diapo 37 Diapo 36 Diapo 37</p>
1.2	<b>Sensibilité à des résultats de l'étude</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Bénéfices selon les scénarios du montant investi en maintenance additionnelle</li> <li>b) Présentation des bénéfices des scénarios de montants investis ventilés selon MIN-MED-MAX</li> </ul>	<p>Diapo 38  Diapo 38</p>
1.3	<b>Impact de la dégradation additionnelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Effet de la dégradation en fonction de l'âge</li> <li>b) Impact sur les bénéfices et sur le budget de maintenance d'un scénario accéléré de dégradation additionnelle.</li> </ul>	<p>Diapo 12  Diapo 39</p>
1.4	<b>Autres familles d'actifs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Impact sur le réseau et budget d'une stratégie de maintenance portant sur l'ensemble des familles d'actifs</li> <li>b) Calendrier pour établir le lien entre les défaillances des autres équipements et le retard en maintenance</li> </ul>	<p>Diapos 7 et 11  Diapo 40</p>
1.5	<b>Effet spirale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Calcul et quantification de l'effet spirale</li> </ul>	<p>Diapos 19 et 22</p>

# Impact sur les coûts évités selon des scénarios (1.1 c)

- > Coûts directs évités de 220 M\$ calculé par la multiplication de l'écart du nombre de défaillances partielles réparables et un coût unitaire de réparation par famille d'équipements
- > Sensibilité de ce montant calculée sur la distribution statistique des coûts unitaires de réparation par type d'équipement étudié.

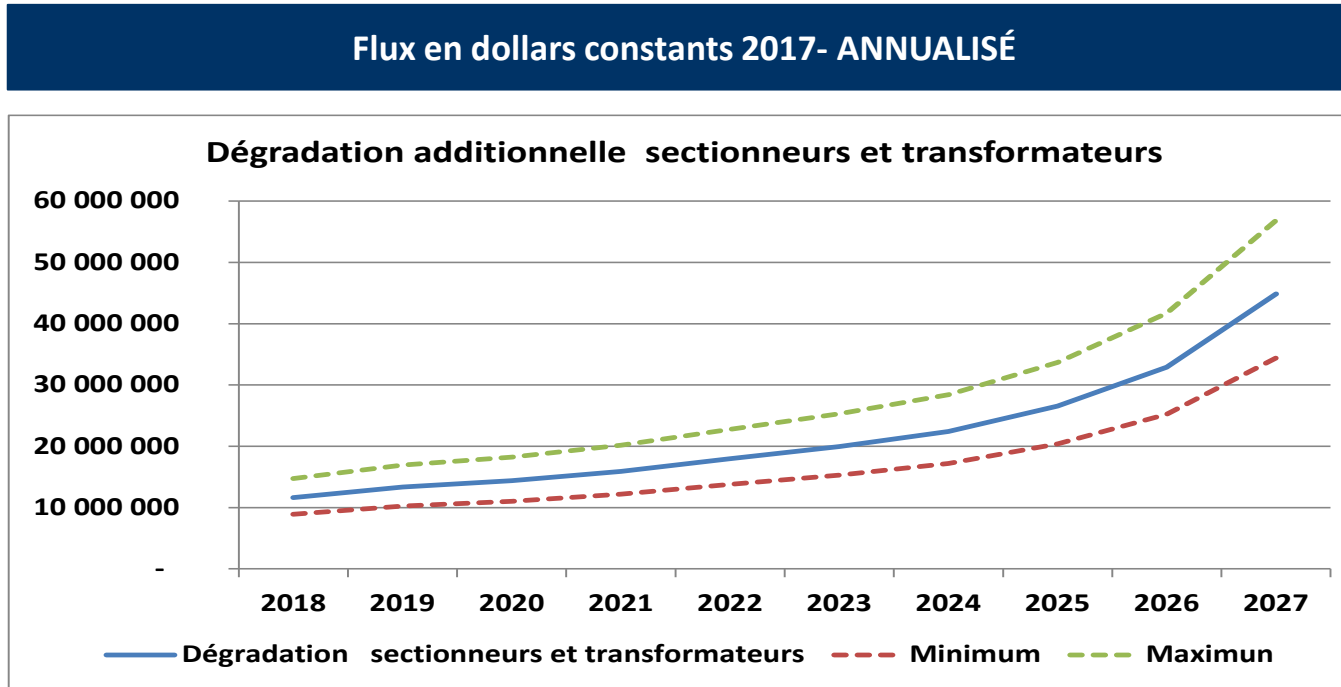
## DISTRIBUTION STATISTIQUE DES COÛTS



## ANALYSE DE SENSIBILITÉ DE L'EFFET DE LA DÉGRADATION EN DOLLARS CONSTANTS 2017

Probabilité	20% (MIN)	50% (MED)	80% (MAX)
Dégradation selon probabilité (\$ constants 2017)	169 M\$	220 M\$	279 M\$

# Flux monétaires et actualisation des résultats (1.1 a,b,d)



**Coûts directs évités de 220 M\$ établis en dollars constants de 2017**

# Sensibilité à divers scénarios de maintenance additionnelle (1.2 a,b)

- > Le Transporteur soutient que le premier critère de sélection d'un scénario de gestion d'actifs est celui du contrôle du risque de défaillance, en autant qu'il soit rentable.
  - Le scénario +54 M\$ est basé sur les besoins nécessaires à la réalisation de notre stratégie actuelle visant à reprendre le contrôle de la hausse du risque pour l'ensemble des équipements, considérant une capacité de réalisation soutenable et minimisant l'impact sur les tarifs
  - Un scénario inférieur à +54M\$ ne permettrait pas un contrôle suffisant du risque de défaillance et nous exposerait à une perte possible du contrôle des IF. Un tel scénario compromettrait notre capacité d'assurer un service fiable et continu à notre clientèle.
  - Un scénario supérieur à +54M\$ permettrait une reprise plus rapide du contrôle du risque lié au déficit de maintenance. Par ailleurs, ce scénario créerait une pression sur notre capacité de réalisation et une pression additionnelle sur les coûts et donc sur les tarifs.
  
- > Par prudence, le Transporteur ne peut adopter un scénario qui ne rencontre pas le critère de contrôle du risque.

# Sensibilité à la « dégradation due à l'âge » des autres équipements (1.3 b)

- > Pour l'appareillage électrique, l'âge a un effet certain qui doit être compensé par une hausse de la maintenance.
  - Cette hausse de maintenance doit être suffisante pour stopper et renverser l'effet spirale. Pour cette raison, il n'est pas suffisant de stopper la prise de retard d'entretien. Il faut suffisamment diminuer le retard accumulé pour renverser l'effet spirale et compenser l'effet futur de l'âge.
- > L'âge a un effet important sur l'appareillage mécanique qui représente une part très faible du parc et sera en nombre décroissant au cours des 10 prochaines années.
- > Pour les actifs d'automatismes et d'emprise, l'âge affecte peu ou pas la vitesse de dégradation. En automatismes, on parle plutôt d'obsolescence et de désuétude.
- > La dégradation s'accélère très lentement sur les actifs de lignes. L'impact sur les 10 prochaines années est faible.

L'effet de la dégradation due à l'âge pour les autres équipements influence peu les résultats des dix prochaines années

# Sensibilité à la « dégradation due à la maintenance » des autres équipements (1.4 b)

- > Effet de la « dégradation due au manque de maintenance » sur les actifs « autres que sectionneurs et transformateurs »
  - Comme mentionné précédemment, les courbes quantifiant la dégradation d'EPRI ne sont pas applicables aux autres équipements du Transporteur.
  - Pour développer des courbes applicables à ses autres actifs, le Transporteur devrait compiler les causes détaillées de défaillances et leurs effets sur un vaste échantillonnage durant plusieurs années (l'EPRI compile les informations depuis 40 ans pour son progiciel PMBD<sup>1</sup>).
  - De plus, compte tenu que l'effet bénéfique de l'accroissement de maintenance estimé pour les sectionneurs et transformateurs de puissance s'avère<sup>2</sup> suffisant pour justifier l'ensemble des besoins en maintenance additionnelle, le Transporteur ne prévoit pas lancer à court terme d'initiative pour déterminer précisément et en détail l'effet bénéfique pour les autres appareils.

<sup>1</sup> voir note de pied de page #6, de la pièce HQT-3, Document 1.1

<sup>2</sup> voir pièce HQT-3, Document 1.2



# Conclusion

# Conclusion de la pièce HQT-3, Document 1.1

- > Les besoins additionnels récurrents sont de 54 M\$ et couvrent les besoins pour l'ensemble des actifs du Transporteur.
- > Ces besoins sont basés sur la stratégie actuelle qui vise le contrôle du risque, ainsi que le contrôle de la hausse des IF et leurs impacts.
  - Le Transporteur soutient que le premier critère de sélection d'un scénario de gestion d'actifs est celui du contrôle du risque de défaillance en autant qu'il soit rentable.
  - Le Transporteur ne peut adopter un scénario qui ne rencontre pas ce critère.
- > Les défaillances, IF et interruptions évitées à la base de l'évaluation des bénéfices sont uniquement celles dues aux transformateurs de puissance et sectionneurs.

# Conclusion générale

# Conclusion générale

- > Le Transporteur demande une mise à niveau du budget en maintenance pour assurer le contrôle du risque de défaillances de ses équipements.
  - Le Transporteur soutient que le premier critère de sélection d'un scénario de gestion d'actifs est celui du contrôle du risque de défaillance en autant qu'il soit rentable.
  - Le Transporteur ne peut adopter un scénario qui ne rencontre pas ce critère.
- > L'analyse coûts-bénéfices de cette maintenance additionnelle démontre que celle-ci est rentable.