

**STRATÉGIE DE GESTION DE LA PÉRENNITÉ
DES ACTIFS DU TRANSPORTEUR**

Stratégie de gestion de la pérennité des actifs du Transporteur

Juillet 2007

GLOSSAIRE	5
INTRODUCTION.....	6
1. MISE EN CONTEXTE	6
1.1 Réseau vieillissant.....	6
1.2 Démarche actuelle.....	10
1.3 Démarche enrichie vers une stratégie de gestion optimisée de la pérennité.....	10
2. ÉQUIPEMENTS DU RÉSEAU DE TRANSPORT	12
2.1 Postes.....	12
2.2 Équipements disjoncteurs	12
2.3 Équipements sectionneurs	13
2.4 Équipements de transformation et inductances	14
2.5 Équipements de compensation	17
2.6 Systèmes d'automatismes.....	18
2.7 Autres équipements.....	19
2.8 Équipements civils.....	21
2.9 Lignes	22
3. ÉLABORATION DES CRITÈRES DE PÉRENNITÉ ET D'ÉTAT.....	24
3.1 Critères de pérennité et analyses techniques spécifiques	24
3.1.1 Appareillage électrique et mécanique	25
3.1.1.1 Critères de pérennité des disjoncteurs	25
3.1.1.2 Critères de pérennité des sectionneurs.....	27
3.1.1.3 Critères de pérennité des équipements de transformation et inductances.....	29
3.1.1.4 Analyses techniques spécifiques des équipements de compensation	30
3.1.1.5 Analyses techniques spécifiques des autres équipements (jeux de barres, compresseurs d'air, groupes électrogènes, parafoudres).....	30
3.1.2 Critères de pérennité des systèmes d'automatismes.....	31
3.1.3 Analyses techniques spécifiques des équipements civils	34
3.1.4 Critères de pérennité des lignes de transport	34
3.1.4.1 Lignes aériennes	34
3.1.4.2 Lignes souterraines	35
3.1.5 Élaboration et révision des critères de pérennité	35
3.2 Évaluation de l'état	36
3.2.1 Mandat avec la firme Hatch Energy	36
4. ÉVALUATION DU RISQUE.....	39
4.1 Grille d'analyse du risque	39

4.2	<i>Probabilité d'une défaillance de fin de vie d'un équipement</i>	40
4.2.1	Disjoncteurs et sectionneurs	40
4.2.2	Systèmes d'automatismes	40
4.2.3	Autres équipements (transformateurs, compensateurs, équipements civils, lignes)	40
4.3	<i>Impact d'une défaillance de fin de vie d'un équipement</i>	41
4.3.1	Impact sur le réseau et la clientèle (40 pour cent)	41
4.3.2	Impact sur le fonctionnement du poste (20 pour cent)	41
4.3.3	Impact sur la sécurité du public ou du personnel (20 pour cent)	43
4.3.4	Impact sur l'environnement (10 pour cent)	43
4.3.5	Impact sur les coûts collatéraux (10 pour cent)	43
4.4	<i>Utilisation de la grille d'analyse du risque</i>	44
4.5	<i>Grille d'analyse du risque par famille d'actifs homogènes</i>	46
4.5.1	Équipements disjoncteurs	47
4.5.2	Équipements sectionneurs	48
4.5.3	Équipements de transformation et Inductances	49
4.5.4	Équipements de compensation (batteries de condensateur)	49
4.5.5	Autres équipements	50
4.5.6	Systèmes d'automatismes	50
4.5.7	Équipements civils	51
4.5.8	Lignes de transport	51
5.	PORTEFEUILLE DE SOLUTIONS (REPLACEMENT OU REMISE À NEUF)	52
6.	ÉVALUATION DU NIVEAU D'INVESTISSEMENT OPTIMAL	54
6.1	<i>Modèle prévisionnel de vieillissement des équipements</i>	54
6.1.1	Modélisation du vieillissement à partir des courbes	55
6.2	<i>Modèle d'utilisation des ressources requises</i>	58
6.3	<i>Paramètres de la simulation</i>	59
6.4	<i>Intégration de la grille d'analyse du risque</i>	59
6.5	<i>Types de simulations</i>	59
6.5.1	Simulation en boucle ouverte	60
6.5.2	Simulation en boucle fermée	60
7.	STRATÉGIE OPTIMALE D'INTERVENTION À LONG TERME	62
7.1	<i>Stratégie optimale d'intervention avec profil de vieillissement</i>	62
7.1.1	Appareillage	62
7.1.1.1	Scénarios d'interventions	63
	Scénario 1 – Attente de la défaillance (simulation en boucle ouverte)	64

Scénario 2 – Attente de la défaillance avec prédicteur amélioré (simulation en boucle ouverte).....	64
Scénario 3 – Maintien du risque au minimum (simulation en boucle fermée).....	64
Scénario 4 – Recherche du risque constant (simulation en boucle fermée)	66
Scénario 5 – Risque contrôlé avec prédicteur amélioré (simulation en boucle fermée)	67
Scénario proposé	69
Prévisions associées au scénario proposé	72
7.1.2 Équipements civils	76
7.1.3 Lignes	76
7.2 <i>Stratégie optimale d'intervention sans profil de vieillissement</i>	77
7.2.1 Systèmes d'automatismes.....	77
7.3 <i>Cas particulier de l'Île de Montréal</i>	79
8. ÉVALUATION ET SUIVI DE LA STRATÉGIE	80
9. ACTIVITÉS DE MAINTENANCE LIÉES À LA STRATÉGIE DE PÉRENNITÉ.....	81
10. IMPACT DE LA STRATÉGIE SUR L'INDICE DE CONTINUITÉ.....	83

Glossaire

Catégorie d'équipement : type de technologie (SF6, gros volume d'huile)

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

Famille (classe) d'actifs homogènes qui ont la même fonctionnalité telle que décrit dans la section 2 du présent document

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

RAN : Remise à neuf

Introduction

Hydro-Québec dans ses activités de transport (le « Transporteur ») présente la stratégie de gestion de la pérennité des actifs du réseau de transport d'électricité. Elle explique dans le présent document la démarche réalisée, compte tenu des informations actuellement disponibles et archivées, et des résultats obtenus. Beaucoup de travail a été réalisé jusqu'à maintenant pour établir la base de cette stratégie et des efforts de raffinement sont à prévoir au cours des prochaines années pour optimiser le niveau d'investissement requis pour assurer la pérennité tout en contrôlant le niveau de risque. De plus, le document traite de l'impact de cette stratégie sur la maintenance des équipements et l'impact sur l'indice de continuité pour les années à venir.

1. Mise en contexte

1.1 Réseau vieillissant

À sa création, en 1944, Hydro-Québec hérite des installations de la Montreal Light Heat and Power, dont certaines datent du début du siècle. Quelques années plus tard, en 1950, l'entreprise fait l'acquisition du réseau du Nord-Ouest québécois, déjà exploité par le gouvernement du Québec depuis neuf ans. Parallèlement à la construction des centrales hydroélectriques, Hydro-Québec développe son réseau de transport. Entre 1956 et 1960, un réseau à 315 kV est construit pour acheminer l'électricité de la Côte-Nord vers Québec et Montréal.

L'essor des années 1960-1970 donne lieu à la construction de plusieurs infrastructures essentielles à la société québécoise : autoroutes, aqueducs, métro de Montréal, réseau hospitalier, etc. Le réseau de transport d'électricité connaît un essor semblable, s'ajustant à la croissance de la demande des clients et à la mise en valeur des ressources hydroélectriques du Québec. Après l'inauguration du barrage Daniel-Johnson à Manic-5 en 1968, Hydro-Québec signe l'année suivante un contrat avec la Churchill Falls (Labrador) Corporation et entreprend deux années plus tard l'aménagement du complexe La Grande à la Baie James. Entre 1970 et 1980, la puissance installée disponible au Québec est doublée.

Comme ces installations de production sont toutes situées à une grande distance des principaux centres de consommation, des postes et des lignes à très haute tension doivent être construits pour acheminer l'électricité jusqu'aux clients. Il en résulte aujourd'hui que plus de 60 pour cent des équipements du réseau de transport sont âgés de 20 ans et plus (voir figure 1). Depuis la fin des années 90, avec des taux de croissance moindres et un réseau de transport d'électricité vieillissant, la gestion de la pérennité prend une place de plus en plus importante.

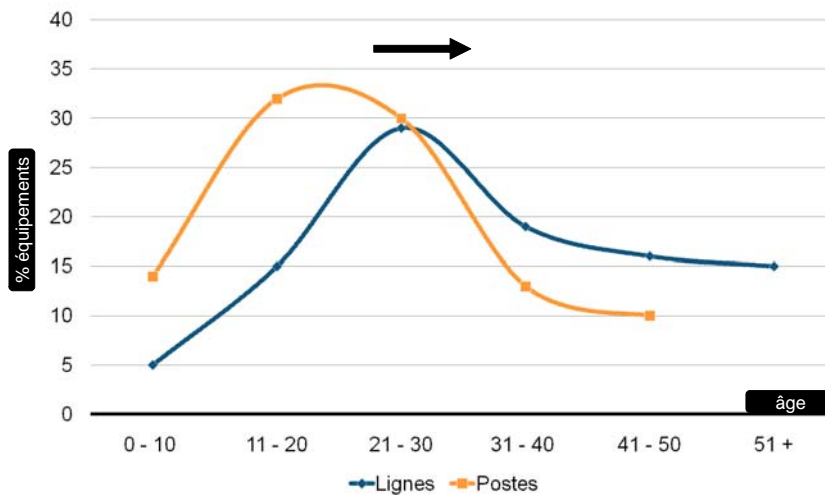


Figure 1 – Profil d'âge des équipements postes et lignes (janvier 2007)

Cette problématique n'est pas spécifique au Québec. Plusieurs entreprises de services publics au Canada, aux États-Unis et en Europe sont aussi confrontées aux pressions qu'exerce la nécessité d'investir massivement dans le maintien des actifs.

Au Québec, un nombre important d'équipements du réseau de transport auront atteint la fin de leur vie utile d'ici dix ans, car la moyenne des vies utiles correspond à l'âge du réseau Manic-Québec-Montréal. La figure 2 illustre comment évoluerait la proportion d'équipements dépassant leur vie utile (zone verte) entre 2007 et 2017 si aucun investissement n'était fait en pérennité.

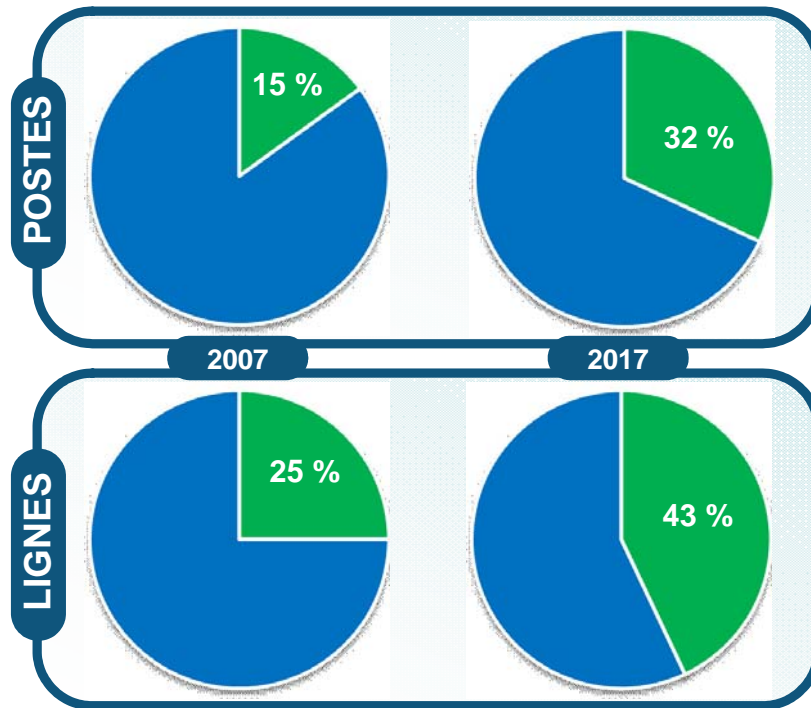


Figure 2 - Profil de vieillissement 2007-2017 sans investissement en pérennité

Ainsi par exemple, en l'absence d'investissement en pérennité, 52 pour cent des disjoncteurs (postes) et 55 pour cent des isolateurs (lignes) dépasseraient leur vie utile en 2017.

Depuis 2002, les investissements du Transporteur en maintien des actifs ont connu une croissance significative, passant de 115 M\$ en 2002 à 312 M\$ en 2007.

Au rythme actuel des investissements, le réseau continue de vieillir et les interventions ciblées ne permettent pas de stabiliser l'âge moyen des équipements. La situation sera aggravée par la vague d'équipements qui dépasseront leur vie utile au cours des

prochaines années.

Différents scénarios peuvent être envisagés pour estimer quel serait le niveau d'investissement requis pour stabiliser l'âge moyen du parc. À titre d'exemple, la figure 3 illustre l'impact sur l'âge moyen des équipements de trois scénarios d'investissements : le scénario d'investissements actuel (orangé), le scénario optimal visé par la présente stratégie de gestion de la pérennité (bleu) et le scénario requis pour stabiliser l'âge moyen des équipements au niveau de leur vie utile (marron).

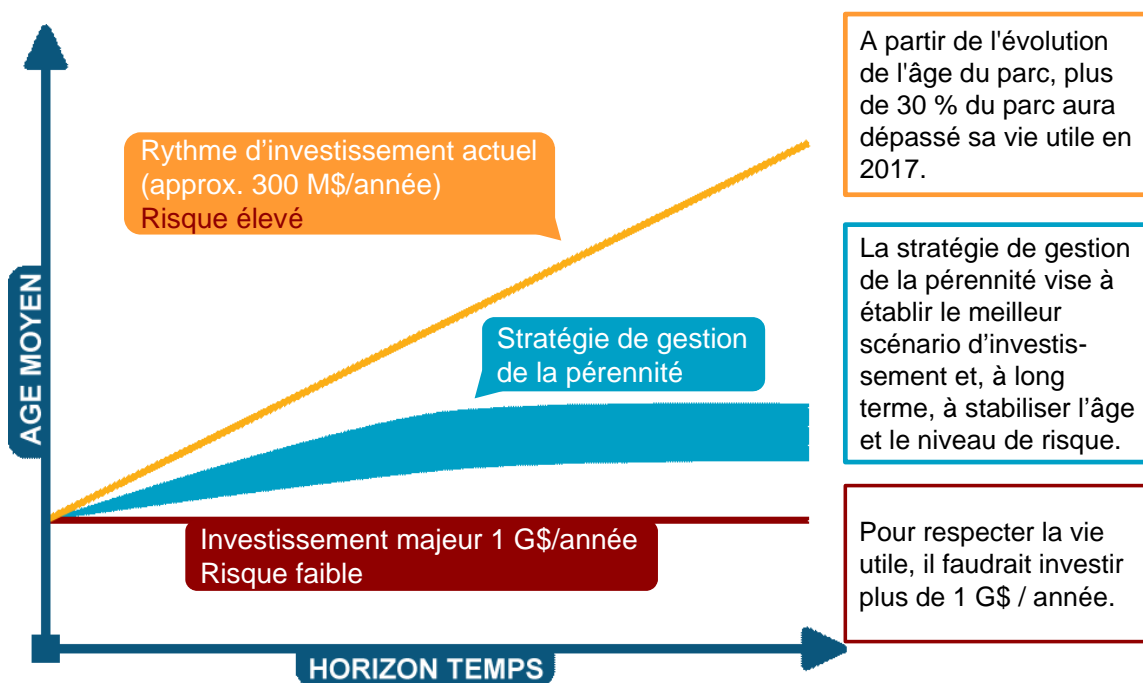


Figure 3 – Impact des scénarios d'investissements sur l'âge moyen des équipements

Dans un tel contexte, le Transporteur juge nécessaire d'agir immédiatement pour :

- maintenir le niveau de qualité du service à ses clients;
- maintenir la capacité de transit dans un contexte de sollicitation croissante des équipements;
- maintenir le niveau de sécurité de ses employés et du public;
- éviter que les projets d'interventions en pérennité entraînent une augmentation soudaine des investissements, des besoins en main-d'œuvre et de

l'indisponibilité des équipements.

1.2 Démarche actuelle

Pour établir le niveau des investissements requis en maintien des actifs, l'applique chaque année une démarche qui se résume en trois étapes.

- *Établir le diagnostic technique*

À partir des critères de pérennité, d'analyses spécifiques mesurant leur vieillissement, d'analyses de risque par famille et de constats sommaires, les équipements sont évalués techniquement.

- *Préparer et fournir les orientations relatives aux interventions à effectuer*

À partir du diagnostic technique réalisé lors de la première étape, des orientations relatives aux interventions à effectuer sont élaborées. On y trouve, par type d'équipement, des taux d'interventions, des choix de types d'interventions et un classement des projets par sous-classe de priorité.

- *Déterminer les projets et les investissements à retenir*

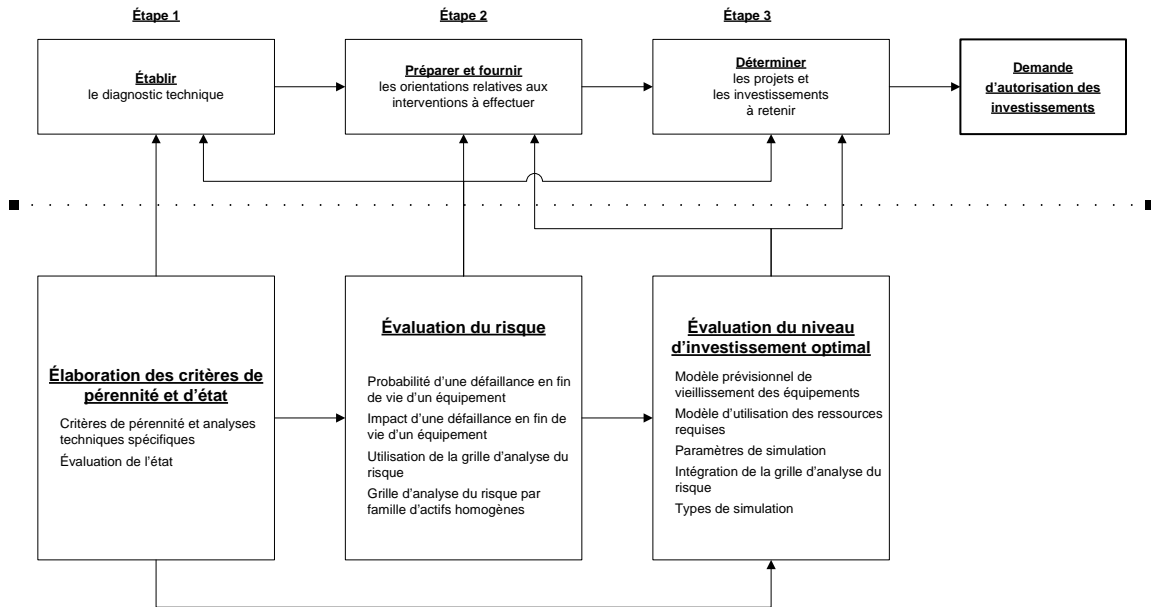
La dernière étape consiste à établir la priorité des projets en fonction des probabilités d'impact sur la continuité du service et sur la fiabilité du réseau. On peut ainsi établir un plan d'investissements correspondant aux projets retenus.

1.3 Démarche enrichie vers une stratégie de gestion optimisée de la pérennité

Comme plusieurs équipements du réseau de transport approchent de la fin de leur durée de vie, il était devenu nécessaire d'optimiser la stratégie de gestion à long terme de la pérennité afin de mieux encadrer le processus de décision et de priorisation des investissements en ce domaine.

La figure 4 ci-dessous présente la démarche actuelle et les améliorations apportées à cette démarche par l'optimisation de la stratégie de gestion de la pérennité.

Démarche (Horizons court terme et moyen terme)



Démarche (Horizon long terme)

Figure 4 – Démarche pour déterminer les investissements requis

Le Transporteur a élaboré une stratégie globale permettant d’assurer le maintien des actifs en tenant compte des risques encourus et des ressources nécessaires. L’application d’une telle stratégie se traduira par une gestion à long terme permettant d’étaler dans le temps les interventions et les investissements.

En se fondant sur une approche améliorée de la gestion des risques et sur l’évaluation des impacts prévus sur les ressources humaines et financières, cette stratégie fournira les outils nécessaires à l’établissement du niveau d’investissement optimal pour assurer la pérennité du parc d’actifs à long terme tout en contrôlant le niveau de risque.

La complexité des modèles utilisés pour l’élaboration d’une telle stratégie exige des efforts de développement sur une période de plusieurs années. La stratégie sera donc raffinée et améliorée année après année, selon un processus d’amélioration continue.

2. Équipements du réseau de transport

Le réseau de transport québécois, qui figure parmi les plus étendus au monde, est une infrastructure très importante. Il compte 508 postes regroupant quelque 155 000 équipements et plus de 32 000 kilomètres de lignes, dont 190 kilomètres en souterrain.

Les données pertinentes relatives à chacun de ces équipements sont consignées : date de mise en service, rapports d'inspection et d'analyses techniques, interventions de maintenance, d'entretien ou de remise à neuf. Lorsque cela s'applique, le Transporteur dispose également des données relatives au nombre d'heures d'utilisation ou au nombre d'opérations enregistrées.

Cette section présente les caractéristiques et le profil des différents équipements du réseau de transport d'électricité.

2.1 Postes

Un poste est un lieu physique intégrant des équipements (ex. : disjoncteurs, sectionneurs, transformateurs de puissance, batteries de condensateurs, équipements civils et autres) et des systèmes (ex. : automatismes).

2.2 Équipements disjoncteurs

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



Photo 1 – Disjoncteur dans un poste à 735 kV

En 2007, le réseau de transport comptait plus de 8 000 disjoncteurs (12 kV et plus), dont environ 500 disjoncteurs réenclencheurs. Plus de 28 pour cent des disjoncteurs ont dépassé leur durée de vie de 30 ans alors que plus de 45 pour cent des disjoncteurs réenclencheurs ont dépassé leur durée de vie de 25 ans. L'âge moyen du parc des disjoncteurs est de 23 ans.

2.3 Équipements sectionneurs

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



Photo 2 – Sectionneur dans un poste à 230 kV

En 2007, le réseau de transport d'électricité comptait environ 32 000 sectionneurs en service. Environ 16 pour cent des sectionneurs ont dépassé leur durée de vie de 40 ans. L'âge moyen des sectionneurs est de 25 ans.

2.4 Équipements de transformation et inductances

Les équipements de transformation comprennent principalement quatre types d'appareils ayant des éléments de conception similaire : les transformateurs de puissance, les inductances shunt, les inductances à noyau d'air et les transformateurs de mesure.

Le transformateur de puissance a pour fonction de convertir la tension et le courant, tandis que l'inductance est un élément de compensation permettant de corriger le facteur de puissance. Le transformateur de mesure, pour sa part, a pour fonction de mesurer la tension et/ou le courant.



Photo 3 – Transformateur de puissance

Le tableau 1 indique le nombre approximatif et la durée de vie des équipements de transformation en service en 2007.

Équipements de transformation	Nombre approximatif	Durée de vie (ans)
Transformateurs de puissance (151 kV et moins)	1200	40
Transformateurs de puissance (151 - 450 kV)	600	50
Transformateurs de puissance (450 kV et plus)	300	40
Inductances shunt (151 - 450 kV)	15	50
Inductances shunt (450 kV et plus)	300	35
Inductances à noyau d'air	3300	40
Transformateurs de mesure (12 kV et plus)	18300	30

Tableau 1 – Nombre approximatif et durée de vie des équipements de transformation

L'âge moyen des transformateurs de puissance (34 kV et plus) du réseau de transport est de 30 ans. Environ 10 pour cent des transformateurs de puissance de moins de 150 kV, 5 pour cent des transformateurs de puissance de 151 kV à 450 kV et 10 pour cent des transformateurs de puissance de plus de 450 kV ont dépassé leur durée de vie. Au total, 8 pour cent des transformateurs de puissance (34 kV et plus) ont dépassé leur durée de vie.

L'âge moyen des inductances shunt du réseau de transport est de 22 ans. Environ 11 pour cent des inductances shunt de 450 kV et plus ont dépassé leur durée de vie.

L'âge moyen des inductances à noyau d'air est de 22 ans. Environ 3 pour cent de ces inductances ont dépassé leur durée de vie.

L'âge moyen des transformateurs de mesure est de 20 ans. Environ 17 pour cent des transformateurs de mesure ont dépassé leur durée de vie.

2.5 Équipements de compensation

Les équipements de compensation comprennent les compensateurs statiques (CLC), les compensateurs synchrones (CS), les batteries de condensateurs shunt et les équipements de compensation série (CXC). Tous ces appareils ont pour fonction d'absorber ou de fournir de la puissance réactive. Les équipements de compensation comprennent aussi les convertisseurs à courant continu qui permettent des échanges d'électricité avec les réseaux voisins.



Photo 4 – Compensateur statique (CLC)

En 2007, le réseau de transport comptait 14 compensateurs statiques, 9 compensateurs synchrones, 1 450 batteries de condensateurs shunt (12 kV et plus), 37 équipements de compensation série et 6 convertisseurs à courant continu. La durée de vie des compensateurs statiques est actuellement de 40 ans, mais elle doit être révisée à la baisse compte tenu de leur état et de leur performance. La durée de vie des compensateurs synchrones est de 35 ans et celle des batteries de condensateurs shunt est de 30 ans, alors que celle des équipements de compensation série est de 40 ans. La durée de vie des convertisseurs à courant continu est actuellement de 40 ans, mais elle doit aussi être révisée à la baisse compte tenu de leur état et de leur performance.

Les compensateurs synchrones n'ayant pas fait l'objet d'une remise à neuf ont atteint leur durée de vie, de même que certains compensateurs statiques et certains systèmes

de convertisseurs.

L'âge moyen des batteries de condensateurs shunt est de 18 ans. Environ 4 pour cent de ces batteries de condensateurs ont dépassé leur durée de vie.

Aucun des équipements de compensation série n'a encore dépassé sa durée de vie.

2.6 Systèmes d'automatismes

Un système d'automatismes est constitué d'une chaîne d'éléments (relais simples ou complexes, unités fonctionnelles, etc.) situés dans un seul poste ou dans un ensemble de postes. Il a pour rôle d'exécuter une ou plusieurs fonctions automatisées.

En 2007, le réseau de transport comptait plus de 44 600 systèmes d'automatismes regroupés selon leurs fonctions dans les huit familles suivantes.

Les systèmes de protection (plus de 25 800 systèmes) protègent les équipements et les lignes contre les événements pouvant perturber leur fonctionnement ou les endommager. Ces systèmes ont un impact important sur la performance du réseau.

Les systèmes de commande (plus de 2 600 systèmes) permettent d'actionner localement ou à distance différents équipements. Ces systèmes ont un impact important sur la performance du réseau.

Les automatismes de réseau (environ 900 systèmes) sont répartis dans plusieurs postes. Ils maintiennent l'équilibre entre la production et la consommation du réseau et ils préservent l'intégrité des équipements et la stabilité du réseau en cas d'événement majeur.

Les automatismes locaux (plus de 4 200 systèmes) remplissent des fonctions automatisées spécifiques à l'intérieur d'une seule installation.

Les automatismes de mesure (plus de 8 100 systèmes) fournissent la mesure des paramètres nécessaires à l'exploitation du réseau et à la facturation des services de transit. Certains de ces systèmes ont un impact important sur la performance du réseau.

Les systèmes de surveillance (environ 1 100 systèmes) surveillent en temps réel le comportement du réseau ou d'une portion du réseau afin de détecter toute perturbation ou événement susceptible de l'affecter.

Les systèmes d'alimentation (plus de 1 100 systèmes) utilisent des accumulateurs-chargeurs pour alimenter en courant continu les différents équipements. Ces systèmes ont un impact important sur la performance du réseau.

Les systèmes d'automatismes des équipements particuliers (plus de 600 systèmes) comprennent tous les systèmes reliés à des équipements particuliers ayant pour fonction de contribuer à l'équilibre du réseau ou au transfert d'énergie entre deux réseaux. Ces systèmes ont un impact important sur la performance du réseau.

2.7 Autres équipements

Cette catégorie comprend les jeux de barres, les systèmes d'air comprimé, les parafoudres et les groupes électrogènes.

En 2007, le réseau de transport comptait environ 8 000 jeux de barres, 400 compresseurs d'air, 130 sécheurs d'air comprimé, 10 000 parafoudres et 35 groupes électrogènes.

Un **jeu de barres** est un conducteur tendu (jeu de barres tendues) ou supporté par des isolateurs (jeu de barres rigides) isolé dans l'air ou dans une enceinte blindée et isolée au SF₆ (barres blindées au SF₆). La durée de vie d'un jeu de barres est de 50 ans et 3 pour cent des jeux de barres l'ont dépassée.



Photo 5 – Jeu de barres rigides

Les **systèmes d'air comprimé** ont pour fonction d'alimenter les disjoncteurs

pneumatiques. Chaque système comprend généralement des compresseurs d'air, un sécheur d'air comprimé, un hygromètre, un ou plusieurs réservoirs et un tableau de contrôle pneumatique. La durée de vie des compresseurs et des sécheurs d'air comprimé est de 25 ans et 20 pour cent des compresseurs d'air l'ont dépassée.



Photo 6 – Système d'air comprimé

Le **parafoudre** a pour fonction de protéger les autres équipements contre les surtensions. Les parafoudres du réseau de transport ont un âge moyen de 21 ans. Leur durée de vie est de 40 ans et 6 pour cent des parafoudres l'ont dépassée.

Le **groupe électrogène** est un équipement de secours permettant d'alimenter en électricité les services auxiliaires des postes en cas de panne majeure. Deux types de groupe électrogène sont en service : les turbines à gaz et les moteurs au diesel. La durée de vie des groupes électrogènes est de 30 ans.

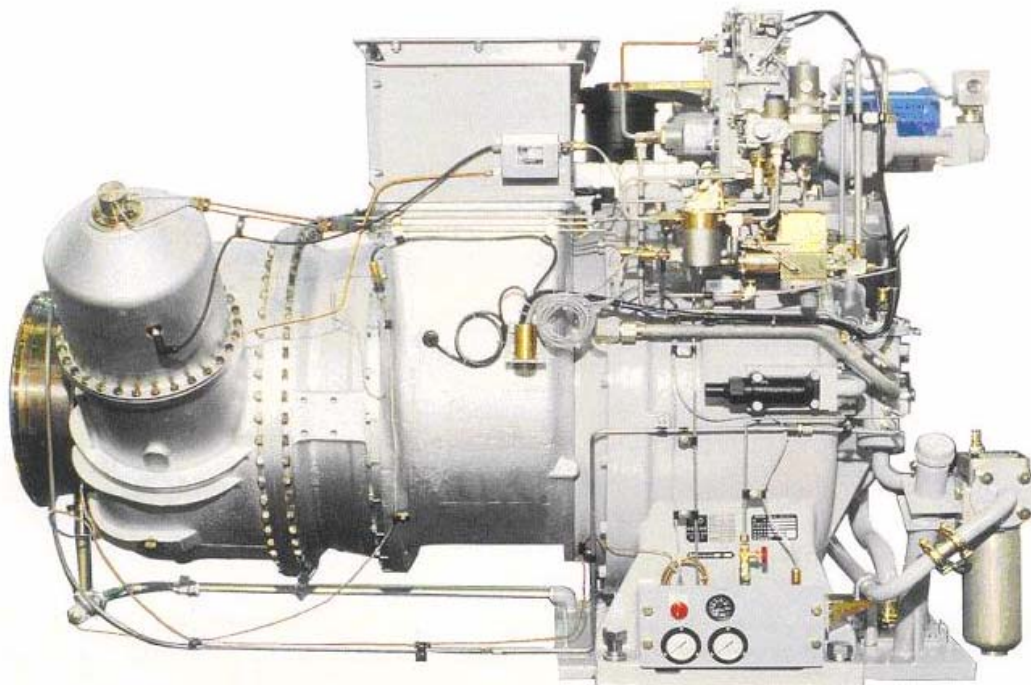


Photo 7 – Groupe électrogène du type turbine à gaz

2.8 Équipements civils

Les équipements civils regroupent des terrains, des bâtiments, des chemins, des systèmes de récupération, de drainage et d'égouts, des clôtures et des barrières, des systèmes de protection incendie, des puits d'accès, des systèmes d'eau potable, des caniveaux et des tranchées pour câbles.

Leurs durées de vie varient entre 25 et 50 ans selon le type d'équipement et l'infrastructure.

En 2007, le parc d'équipements civils du Transporteur comptait entre autres environ 1 000 bâtiments, 1 100 bassins de récupération d'huile, 460 séparateurs eau/huile et quelque 1 175 clôtures et barrières.

2.9 Lignes

Les lignes de transport ont pour fonction d'acheminer l'électricité à partir des installations de production jusqu'aux centres de consommation.

Les lignes aériennes sont composées d'un ensemble de conducteurs, d'isolateurs et d'accessoires supportés par des pylônes métalliques ou des portiques de bois. Les lignes souterraines sont composées de câbles à l'huile ou à isolation polymérique et d'accessoires installés dans des canalisations destinées à cet usage.

Le réseau de transport compte plus de 32 000 kilomètres de lignes aériennes et plus de 190 kilomètres de circuits de lignes souterraines. La durée de vie des pylônes et des fondations est de 50 ans alors que celle des isolateurs est de 40 ans.

Environ 3 000 kilomètres de lignes aériennes ont été mises en service avant les années 50 et ont dépassé leur durée de vie. Par ailleurs, les quelque 12 000 kilomètres de lignes aériennes mises en service entre les années 50 et 70 s'approchent des limites de leur durée de vie.



Photo 8 – Chaîne d'isolateurs d'une ligne à 735 kV

3. Élaboration des critères de pérennité et d'état

La gestion de la pérennité des différents équipements se fonde sur un ensemble de critères permettant d'évaluer leur état et leur durée de vie restante. La présente section décrit les critères et les analyses techniques qui sont appliqués aux différentes familles d'équipements.

3.1 Critères de pérennité et analyses techniques spécifiques

Un critère de pérennité est un paramètre mesurable permettant de situer un équipement dans son cycle de vie.

Comme l'illustrent les graphiques apparaissant à la figure 5, la pérennité des différentes familles d'équipements est liée à des facteurs très différents. Outre l'âge de l'équipement, des facteurs comme l'état, la performance, le taux d'utilisation, le taux de pannes, la maintenabilité et l'obsolescence peuvent affecter la pérennité à différents degrés selon la famille d'équipements. Le Transporteur utilise donc des critères de pérennité qui sont adaptés aux différentes familles d'équipements.

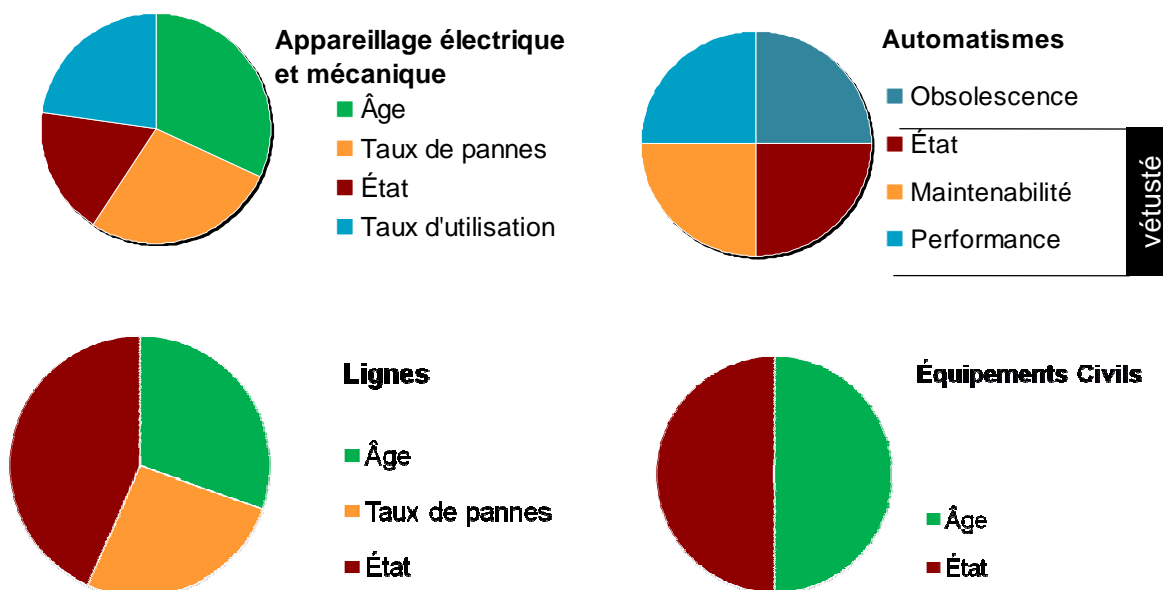


Figure 5 – Facteurs affectant la pérennité des différentes familles d'équipements

3.1.1 Appareillage électrique et mécanique

L'appareillage électrique et mécanique regroupe l'ensemble des équipements d'un poste, c'est-à-dire les équipements disjoncteurs, équipements sectionneurs, équipements de transformation et inductances, équipements de compensation et autres tels que décrits précédemment.

3.1.1.1 CRITÈRES DE PÉRENNITÉ DES DISJONCTEURS

Les critères de pérennité des disjoncteurs s'appuient sur une approche de fiabilité des équipements. Cette méthode se fonde sur les faits archivés et s'applique généralement, pour des raisons statistiques, à de grandes familles d'équipements.

Six critères de pérennité sont appliqués à chaque disjoncteur ou à sa famille (regroupement d'équipements de conception similaire).

Critère 1 : âge du disjoncteur. Le disjoncteur est jugé préoccupant en vertu de ce critère s'il a dépassé d'au moins 50 pour cent sa durée de vie.

Critère 2 : nombre d'opérations du disjoncteur. Le disjoncteur est jugé préoccupant en vertu de ce critère s'il a dépassé de 10 pour cent le nombre maximum d'opérations de sa catégorie (type de technologie).

Critère 3 : fiabilité du disjoncteur par rapport à celle des disjoncteurs de sa famille et de sa tension regroupée. Le disjoncteur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si son taux de réparation moyen dépasse d'au moins 100 pour cent celui de sa famille et dépasse d'au moins 150 pour cent celui de sa tension regroupée (tension d'utilisation) et si le disjoncteur a plus de 85 pour cent de sa durée de vie.

Critère 4 : fiabilité du disjoncteur par rapport à celle des disjoncteurs de sa catégorie. Le disjoncteur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si son taux de réparation moyen dépasse d'au moins 120 pour cent celui de sa catégorie et si le disjoncteur a plus de 85 pour cent de sa durée de vie.

Critère 5 : dégradation de la fiabilité en fin de vie des disjoncteurs de la famille. Le disjoncteur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si :

- son taux de réparation moyen au cours des 5 dernières années dépasse d'au moins 33 pour cent celui de sa famille et si l'âge moyen des disjoncteurs de sa

famille dépasse 85 pour cent de la durée de vie;

- ou si sa famille a été identifiée comme étant en fin de vie.

Critère 6 : fiabilité des disjoncteurs de la famille par rapport à celle des disjoncteurs de la tension regroupée. Le disjoncteur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si :

- le taux de réparation moyen des disjoncteurs de sa famille dépasse d'au moins 50 pour cent celui de sa tension regroupée et si l'âge moyen des disjoncteurs de sa famille dépasse 85 pour cent de la durée de vie;
- ou si sa famille a été identifiée comme étant en fin de vie.

Environ 28 pour cent des disjoncteurs et 45 pour cent des disjoncteurs réenclencheurs sont jugés préoccupants en vertu d'au moins un critère de pérennité. Il s'agit, dans la majorité des cas, de disjoncteurs à gros volumes d'huile et de disjoncteurs pneumatiques. Au total, 30 pour cent de ces équipements sont jugés préoccupants en vertu d'au moins un critère de pérennité.

Le Transporteur a complété une liste des disjoncteurs, évalués selon les critères de pérennité, par ordre de priorité. Cette liste permet de planifier les interventions et de répartir les différents disjoncteurs dans la grille d'analyse du risque qui sera présentée à la section suivante.

Exemple d'application des critères de pérennité

Disjoncteur pneumatique 230-2 du poste Sorel : 230 kV de type DLFK, mis en service en 1977.

Critère 1 : Mis en service en 1977, ce disjoncteur a 30 ans alors que la durée de vie d'un disjoncteur pneumatique est de 30 ans. Le disjoncteur n'a pas dépassé sa durée de vie d'au moins 50 pour cent et il n'est pas jugé préoccupant en vertu de ce critère. La valeur calculée servant d'intrant à la grille d'analyse du risque est la suivante:

$$\text{Age du disj.} / \text{durée de vie} / 150\% = 30 / 25 / 150\% = 0.8$$

Critère 2 : Le nombre d'opérations de ce disjoncteur est de 5 091 alors que le nombre maximum est de 2 000. Le disjoncteur a dépassé de plus de 10 pour cent le nombre maximum d'opérations et il est jugé préoccupant en vertu de ce critère. La valeur calculée servant d'intrant à la grille d'analyse du risque est la suivante:

$$\text{Nombre d'opérations} / (\text{nombre maximum} + 10\%) = 5010 / (2000 + 10\%) = 2.28$$

Critère 3 : Le taux de réparation du disjoncteur est de 1,86 alors que celui de sa famille est de 0,32 et celui de la tension 230-315 kV de 0,40. Le taux de réparation du disjoncteur dépasse d'au moins 100 pour cent celui de sa catégorie et d'au moins 150 pour cent celui de sa tension regroupée. Il a en outre plus de 85 pour cent de sa durée de vie. Il est donc jugé préoccupant en vertu de ce critère. La valeur calculée servant d'intrant à la grille d'analyse du risque est la plus élevée parmi les suivantes:

$$\text{Taux du disj.} / (\text{taux de la famille} + 100\%) = 1.86 / (0.32 + 100\%) = 2.91$$

$$\text{Taux du disj.} / (\text{taux de la tension} + 150\%) = 1.86 / (0.40 + 150\%) = 1.86$$

$$\text{Age du disj.} / \text{durée de vie} / 85\% = 30 / 25 / 85\% = 1.41$$

Critère 4 : Le taux de réparation du disjoncteur est de 1,86 alors que celui de sa catégorie est de 0,36. Le taux de réparation du disjoncteur dépasse d'au moins 120 pour cent celui de sa catégorie et ce disjoncteur a plus de 85 pour cent de sa durée de vie. Il est donc jugé préoccupant en vertu de ce critère. La valeur calculée servant d'intrant à la grille d'analyse du risque est la plus élevée parmi les suivantes:

$$\text{Taux du disj.} / (\text{taux de sa catégorie} + 120\%) = 1.86 / (0.36 + 120\%) = 2.35$$

$$\text{Age du disj.} / \text{durée de vie} / 85\% = 30 / 25 / 85\% = 1.41$$

Critère 5 : La famille du disjoncteur a été identifiée comme étant en fin de vie. Le disjoncteur est donc jugé préoccupant en vertu de ce critère.

Critère 6 : Le taux de réparation de la famille est de 0,32 alors que celui de la tension regroupée est de 0,40. Le taux de réparation de la famille ne dépasse pas d'au moins 50 pour cent celui de la tension regroupée et l'âge moyen des disjoncteurs de la famille (24 ans) dépasse 85 pour cent de la durée de vie. Sa famille ayant été identifiée comme étant en fin de vie, le disjoncteur est jugé préoccupant en vertu de ce critère.

Ce disjoncteur est jugé préoccupant en vertu de cinq des six critères de pérennité. La somme des valeurs calculées ci-dessus donne un total de 8,34 qui, arrondi à l'entier supérieur 9, servira d'intrant à la grille d'analyse du risque.

3.1.1.2 CRITÈRES DE PÉRENNITÉ DES SECTIONNEURS

Les critères de pérennité des sectionneurs s'appuient aussi sur une approche de fiabilité des équipements. Les critères sont les mêmes que pour les disjoncteurs, à l'exception du critère « nombre d'opérations » qui n'a pas d'impact direct sur la performance des

sectionneurs.

Critère 1 : âge du sectionneur. Le sectionneur est jugé préoccupant en vertu de ce critère s'il a dépassé d'au moins 50 pour cent sa durée de vie.

Critère 2 : fiabilité du sectionneur par rapport à celle des sectionneurs de sa famille. Le sectionneur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si son taux de réparation moyen dépasse d'au moins 100 pour cent celui de sa famille (regroupement d'équipements de conception similaire) et s'il a dépassé 85 pour cent de sa durée de vie.

Critère 3 : fiabilité du sectionneur par rapport à celle des sectionneurs de sa catégorie-tension. Le sectionneur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si son taux de réparation moyen dépasse d'au moins 200 pour cent celui de sa catégorie-tension et s'il a dépassé 85 pour cent de sa durée de vie.

Critère 4 : dégradation de la fiabilité en fin de vie des sectionneurs de la famille. Le sectionneur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si :

- son taux de réparation moyen au cours des 5 dernières années dépasse d'au moins 50 pour cent celui de sa famille et si l'âge moyen de sa famille dépasse 85 pour cent de la durée de vie;
- ou si sa famille a été identifiée comme étant en fin de vie.

Critère 5 : fiabilité des sectionneurs de la famille par rapport à celle des sectionneurs de la catégorie-tension. Le sectionneur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si :

- le taux de réparation moyen de sa famille dépasse d'au moins 50 pour cent celui de sa catégorie-tension et si l'âge moyen de sa famille dépasse 85 pour cent de la durée de vie;
- ou si sa famille a été identifiée comme étant en fin de vie.

L'âge moyen des sectionneurs du réseau de transport est de 25 ans. Environ 16 pour cent de ces sectionneurs sont jugés préoccupants en vertu d'au moins un critère de pérennité. La majorité d'entre eux ont été fabriqués par des fournisseurs qui ne font plus affaires au Québec depuis plusieurs années.

Le Transporteur a complété une liste des sectionneurs, évalués selon les critères de pérennité, par ordre de priorité. Cette liste permet de planifier les interventions et de répartir les différents sectionneurs dans la grille d'analyse du risque qui sera présentée à la section suivante.

3.1.1.3 CRITÈRES DE PÉRENNITÉ DES ÉQUIPEMENTS DE TRANSFORMATION ET INDUCTANCES

La gestion de la pérennité des transformateurs de puissance et des inductances shunt se fonde sur des analyses techniques individuelles portant notamment sur l'état de l'huile. Dans les cas plus problématiques, le prélèvement d'un échantillon de papier sur l'enroulement permet d'en établir la durée de vie restante.

Quatre critères de pérennité sont appliqués à ces équipements de transformation ou à leurs familles (regroupement d'équipements de conception similaire).

Critère 1 : état de l'isolation interne du transformateur. Le transformateur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si l'état de l'isolation interne du transformateur (complexe papier/huile) présente une dégradation qui dépasse les seuils prescrits par les experts techniques internes. L'analyse se fonde, entre autres, sur les gaz dissous dans l'huile, les dérivés furaniques présents dans l'huile et le degré de polymérisation du papier.

Critère 2 : niveau d'exploitation du transformateur. Le transformateur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si son niveau d'exploitation (facteur d'utilisation, charge moyenne annuelle et surcharge) dépasse les seuils prescrits. L'analyse tient compte du profil de charge, soit l'historique de la charge réelle (MW, Mvar, A, V) de chaque transformateur.

Critère 3 : niveau de fiabilité du transformateur. Le transformateur est jugé préoccupant en vertu de ce critère si son taux de réparation dépasse celui de sa famille et de sa catégorie (type de technologie). Cette approche de fiabilité est analogue à celle utilisée pour les disjoncteurs.

Critère 4 : âge du transformateur. Le transformateur est jugé préoccupant en vertu de ce critère s'il a atteint sa durée de vie.

Une liste des transformateurs de puissance et des inductances shunt évalués selon les critères de pérennité est en préparation.

Le Transporteur prévoit terminer l'élaboration des critères de pérennité des transformateurs de mesure d'ici 2008.

3.1.1.4 ANALYSES TECHNIQUES SPÉCIFIQUES DES ÉQUIPEMENTS DE COMPENSATION

Compte tenu de leur petit nombre et de leur valeur monétaire élevée, la pérennité des équipements de compensation est étudiée au cas le cas, sans utiliser des critères de pérennité analogues à ceux appliqués aux équipements précédents. Avant de procéder au remplacement ou à la remise à neuf d'un équipement de compensation, une étude approfondie doit être réalisée pour tenir compte de l'évolution du réseau.

Les batteries de condensateurs shunt sont pour leur part traitées selon des avis de maintenance se rapportant à des familles problématiques. Le Transporteur prévoit terminer l'élaboration des critères de pérennité des batteries de condensateurs shunt d'ici 2008.

3.1.1.5 ANALYSES TECHNIQUES SPÉCIFIQUES DES AUTRES ÉQUIPEMENTS (JEUX DE BARRES, COMPRESSEURS D'AIR, GROUPES ÉLECTROGÈNES, PARAFONDRES)

À cause de leur diversité, les autres équipements du réseau sont soumis à une gestion de la pérennité fondée sur des paramètres spécifiques à chacun d'entre eux.

Les **jeux de barres** étant des équipements statiques n'ayant aucune pièce mobile, ils subissent peu de détérioration en exploitation normale. Le Transporteur prévoit terminer l'élaboration des critères de pérennité des jeux de barres d'ici 2008.

Les **compresseurs d'air** sont pour leur part remis à neuf en fonction du nombre d'heures de fonctionnement. Au cours des dix dernières années, le tiers des compresseurs d'air ont été remis à neuf et un autre tiers sera remis à neuf ou remplacé prochainement, de même que 15 pour cent du parc de sécheurs d'air comprimé. Le Transporteur prévoit terminer l'élaboration des critères de pérennité des systèmes d'air d'ici 2008.

Compte tenu de leur petit nombre, la pérennité des **groupes électrogènes** est évaluée au cas le cas, en fonction de l'évolution et des besoins particuliers du réseau.

Les **parafoudres** sont traités selon des avis de maintenance se rapportant à des familles problématiques. Le Transporteur prévoit terminer l'élaboration des critères de pérennité des parafoudres d'ici 2008.

3.1.2 Critères de pérennité des systèmes d'automatismes

La pérennité des systèmes d'automatismes est largement liée à l'obsolescence (technologie périmée) et à la vétusté (état, maintenabilité, performance) des équipements.

La gestion de la pérennité des systèmes d'automatismes est soumise à l'application de deux ensembles de critères : les critères déclencheurs et les critères de remplacement. Les critères déclencheurs attirent l'attention sur un système ou sur un type de système problématique. Ensuite, les équipements ainsi identifiés sont évalués selon les critères de remplacement.

AUTOMATISMES CRITÈRES DÉCLENCHEURS ET DE REPLACEMENT

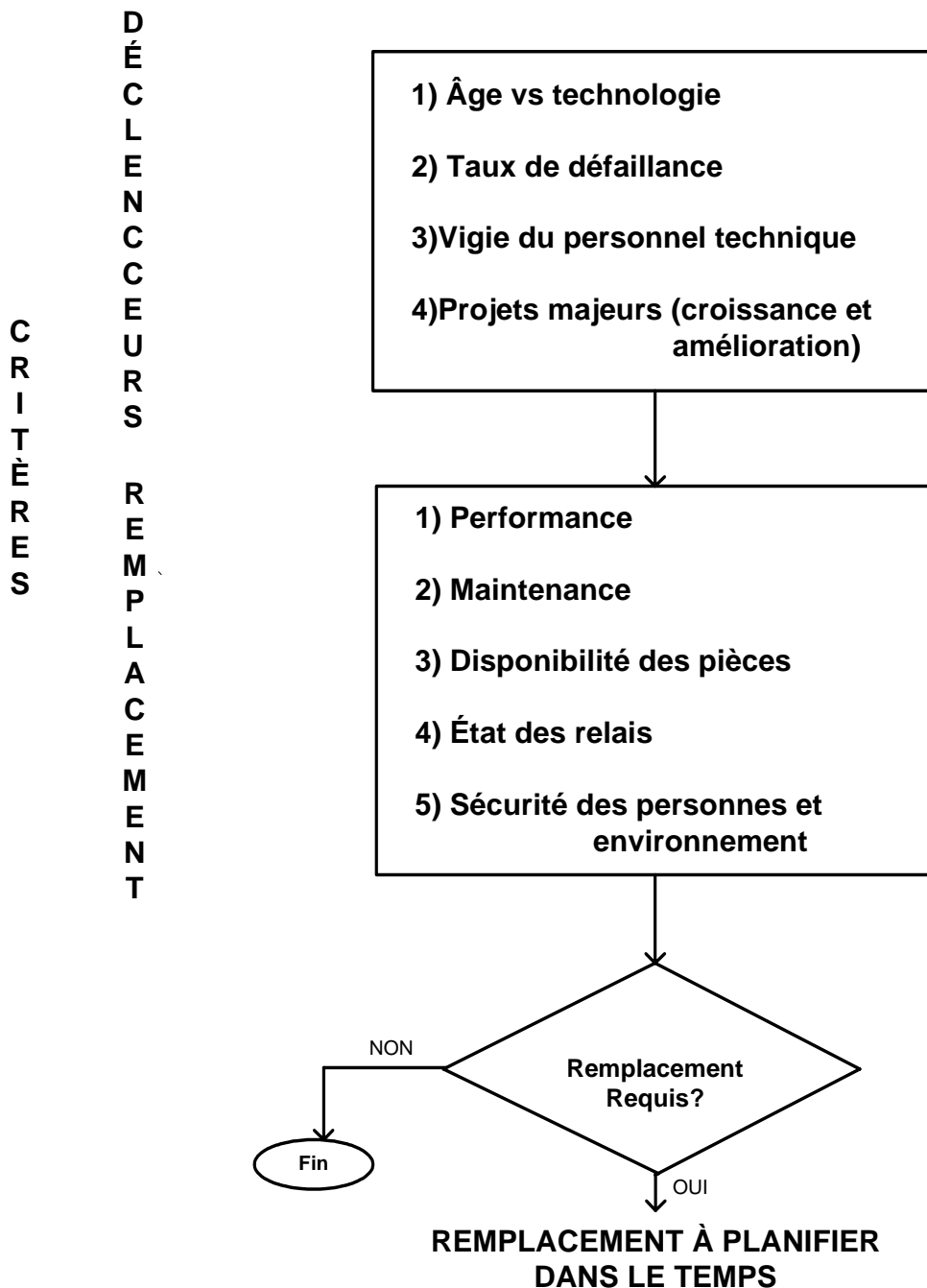


Figure 6 – Critères déclencheurs et critères de remplacement des systèmes d'automatismes

Le bloc supérieur de la figure 6 énumère les quatre critères-déclencheurs appliqués aux systèmes d'automatismes pour identifier un système ou un type de système problématique.

Critère déclencheur 1 : âge et type de technologie du système d'automatismes.

Ces deux paramètres doivent être considérés simultanément pour établir le lien entre la vétusté et l'obsolescence du système. La vétusté d'un système indique qu'il est vieux, en mauvais état ou détérioré, alors que l'obsolescence indique qu'il est périmé pour des raisons indépendantes de son état, mais liées au progrès technologique.

Critère déclencheur 2 : taux de défaillance du système d'automatismes. Le système d'automatisme est jugé problématique en vertu de ce critère si le nombre et les types de pannes répertoriées pour un système ou un type de système sont élevés.

Critère déclencheur 3 : vigie du personnel technique. Le système d'automatismes est jugé problématique en vertu de ce critère si le personnel technique (c'est-à-dire les techniciens chargés de la maintenance, les analystes du comportement du réseau et les exploitants) juge de par son évaluation qu'une intervention en pérennité est requise.

Critère déclencheur 4 : projets d'investissements en croissance des besoins de la clientèle, maintien et amélioration de la qualité et respect des exigences. Un projet réalisé à des fins de croissance des besoins de la clientèle, de maintien et amélioration du réseau ou de respect des exigences peut fournir l'occasion de remplacer des systèmes d'automatismes jugés préoccupant selon les critères de pérennité.

Le bloc inférieur de la figure 6 énumère les cinq critères de remplacement qui sont appliqués aux systèmes d'automatismes.

Critère de remplacement 1 : performance du système d'automatismes. Le système d'automatismes est jugé problématique en vertu de ce critère s'il ne répond pas aux exigences en termes de fiabilité et de sécurité. Un système est fiable s'il fonctionne correctement chaque fois qu'il est sollicité, s'il réagit dans le temps requis et s'il conserve des réglages fixes. La sécurité du système est liée au fait qu'il doit fonctionner uniquement lorsqu'il est sollicité (aucun fonctionnement intempestif) et rester insensible aux interférences électriques.

Critère de remplacement 2 : maintenance du système d'automatismes. Le système d'automatismes est jugé problématique en vertu de ce critère si le personnel technique

signale des difficultés liées à la maintenance.

Critère de remplacement 3 : disponibilité des pièces de rechange. Le système d'automatismes est jugé problématique en vertu de ce critère lorsqu'il n'y a plus ou presque plus de pièces de rechange, autant à l'interne qu'à l'externe.

Critère de remplacement 4 : état physique du système d'automatismes. Le système d'automatismes est jugé problématique en vertu de ce critère s'il présente une détérioration prématurée de ses composantes par rapport à d'autres systèmes du même type ou s'il a dépassé sa durée de vie compte tenu de sa technologie (critère-déclencheur 1).

Critère de remplacement 5 : sécurité des personnes et respect de l'environnement. Le système d'automatismes est jugé problématique en vertu de ce critère s'il présente des risques de défaillance pouvant affecter la sécurité des personnes ou entraîner des dommages à l'environnement.

Le Transporteur a complété une liste des systèmes d'automatismes ou des familles de relais, évalués selon les critères de pérennité, par ordre de priorité. Cette liste permet de planifier les interventions et de répartir les différents systèmes d'automatismes dans la grille d'analyse du risque qui sera présentée à la section suivante.

3.1.3 Analyses techniques spécifiques des équipements civils

La gestion de la pérennité des équipements civils se fonde sur l'âge et l'état de détérioration, en fonction des impacts possibles sur la sécurité du public et du personnel, et sur l'exploitation normale du réseau. Le Transporteur prévoit terminer l'élaboration des critères de pérennité des équipements civils d'ici 2009.

3.1.4 Critères de pérennité des lignes de transport

Compte tenu du vieillissement des lignes de transport, des critères uniformes ont été adoptés par le Transporteur afin d'établir la priorité des interventions en tenant compte d'une gestion optimale du risque.

3.1.4.1 LIGNES AÉRIENNES

Critère 1 : état de détérioration de la ligne. La ligne est jugée problématique en vertu de ce critère si les résultats des inspections, pondérés au moyen d'une table

d'indicateurs pondérés selon la nature de la composante, dépasse le seuil de détérioration prescrit par les experts techniques internes.

Critère 2 : indice de vieillissement de la ligne. La ligne est jugée problématique en vertu de ce critère si son indice de vieillissement, établi à partir d'une table d'indicateurs pondérés, dépasse le seuil de vieillissement prescrit par les experts techniques internes.

Critère 3 : indice de performance de la ligne. La ligne est jugée problématique en vertu de ce critère si son indice de performance en service dépasse le seuil de performance prescrit par les experts techniques internes.

Critère 4 : fiabilité mécanique de la ligne. La ligne est jugée problématique en vertu de ce critère si la vigie indique que sa résistance aux charges de vent et de glace dépasse le seuil de résistance prescrit par les experts techniques internes, compte tenu de son état de détérioration.

3.1.4.2 LIGNES SOUTERRAINES

Dans le cas des lignes souterraines, la gestion de la pérennité se fonde sur neuf critères regroupés sous deux catégories.

Les indicateurs cumulatifs de la durée de vie de la ligne : âge, nombre de claquages électriques internes, présence d'un système de suivi de la pression d'huile et technologie à risque plus élevé.

Les indicateurs basés sur les cinq dernières années : nombre et importance des fuites d'huile, évolution des gaz dissous, réparations et anomalies, nombre et importance des défauts de gaine, évolution des rayons de courbures et migration des câbles dans la chambre de jonction.

Un plan de travail est en préparation pour évaluer les équipements de lignes selon les critères de pérennité.

3.1.5 Élaboration et révision des critères de pérennité

Le Transporteur prévoit terminer l'élaboration des critères de pérennité pour les autres équipements (transformateurs de mesure, équipements civils, parafoudres, jeux de barres tendues, systèmes d'air, bancs de condensateur, postes) d'ici 2009. Le Transporteur entend également réviser périodiquement les critères de pérennité de ses

équipements.

3.2 Évaluation de l'état

L'état des différents équipements en fin de vie utile permet de préciser davantage la probabilité d'une défaillance à court terme. L'importance relative de ce facteur diffère cependant d'une famille d'équipements à une autre.

L'état est un paramètre important notamment pour les lignes et les équipements civils afin de mesurer individuellement le vieillissement. À cet égard, le Transporteur a demandé la collaboration de la firme d'experts Hatch Energy (anciennement Hatch Acres) afin de baliser les méthodologies.

Les critères de pérennité de certains équipements tiennent compte de leur état, mais les données archivées par le Transporteur ne peuvent actuellement être intégrées pour l'évaluation du risque.

3.2.1 Mandat avec la firme Hatch Energy

Le Transporteur a entrepris, en collaboration avec la firme Hatch Energy, une démarche, le mandat initial touchant les points suivants :

- partage d'informations sur les approches respectives des deux organisations en matière de pérennité;
- évaluation de l'état des 30 postes situés sur l'île de Montréal.

Le tableau 2 présente une comparaison sommaire des deux méthodologies selon les grandes familles d'équipements.

	Hydro-Québec TransÉnergie	Hatch Energy
Appareillage	Approche âge / taux de pannes / taux d'utilisation	Approche visuelle et analyse
Systemes d'automatismes	Approche vétusté / obsolescence	Approche performance
Lignes et équipements civils	Approche visuelle et analyse	Approche visuelle et analyse
Documentation des données	État et essais après l'entretien seulement Historique des réparations	État et essais avant et après l'entretien

Tableau 2 - Comparaison des méthodologies du Transporteur et Hatch Energy

Une tournée d'inspection des 30 postes situés sur l'île de Montréal a fait ressortir une incompatibilité des données archivées par le Transporteur avec le modèle de la firme Hatch Energy. Il en résulte que l'application de ce modèle ne permet pas d'atteindre un degré de confiance suffisant pour l'évaluation de l'état de certains équipements.

Dans le cas des équipements pour lesquels une inspection visuelle est suffisante pour déterminer l'état, le modèle de la firme Hatch Energy permet d'établir un bilan. Cette situation ne s'applique toutefois qu'aux équipements civils. Pour les autres équipements, le bilan de santé est partiel et doit être complété par la cueillette, l'archivage et l'analyse d'informations additionnelles.

Le Transporteur retient de sa collaboration avec Hatch Energy deux éléments à intégrer potentiellement dans une méthodologie d'évaluation de l'état en fin de vie : une approche structurée basée sur l'évaluation de l'état comme complément à la méthodologie du Transporteur et la réalisation d'essais avant l'entretien.

Afin de poursuivre l'évaluation de l'état de ses équipements, le Transporteur

entreprendra les actions suivantes dans le but d'améliorer sa démarche au cours des prochaines années :

1. élaboration des paramètres d'évaluation de l'état des équipements afin d'uniformiser l'évaluation;
2. mise en place d'un système de documentation pour archiver les données sur l'état des équipements.

4. Évaluation du risque

L'évaluation du risque vise une approche améliorée de la gestion de la pérennité en déterminant le niveau de risque des différents groupes d'équipements.

Le risque lié à une défaillance complète associée à la fin de vie d'un équipement est établi par le produit de deux grands paramètres : la probabilité d'une défaillance complète et son impact (voir figure 7).

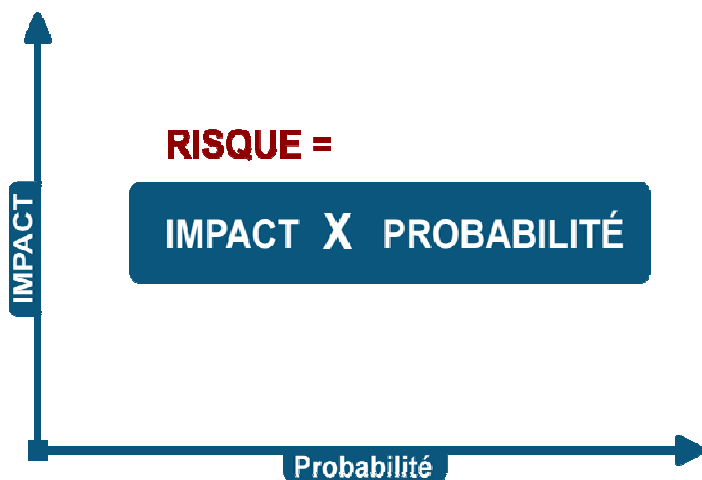


Figure 7 – Évaluation du risque

4.1 Grille d'analyse du risque

Les données relatives à la probabilité et à l'impact d'une défaillance complète de l'équipement sont intégrées à une grille d'analyse du risque.

La grille d'analyse du risque permet d'améliorer la gestion de la pérennité en évaluant le niveau de risque, de manière à :

- intervenir dans le temps au moment le plus rapproché possible de la défaillance anticipée;
- établir l'ordre de priorité des interventions requises.

La grille d'analyse du risque comporte deux axes, gradués de 1 à 9.

L'abscisse indique la cote de probabilité de la défaillance complète associée à la fin de vie d'un équipement. Le chiffre 9 correspond à la cote de probabilité la plus élevée.

L'ordonnée indique la cote d'impact de la défaillance d'un équipement. Le chiffre 9 correspond à la cote la plus élevée.

Le niveau de risque d'un équipement est le produit de sa cote de probabilité par sa cote d'impact.

4.2 Probabilité d'une défaillance de fin de vie d'un équipement

Dans un premier temps, l'évaluation du risque établit la probabilité d'occurrence d'une défaillance des différents éléments d'actif en s'appuyant sur des critères quantitatifs.

La répartition des différents équipements sur l'axe de probabilité est déterminée de la façon suivante.

4.2.1 Disjoncteurs et sectionneurs

Dans le cas des disjoncteurs et des sectionneurs qui sont jugés préoccupants en vertu d'au moins un critère de pérennité, le positionnement sur l'axe s'appuie sur la somme des valeurs calculées des critères, arrondie à l'entier supérieur sans dépasser la valeur maximale de 9.

4.2.2 Systèmes d'automatismes

La répartition des systèmes d'automatismes sur l'axe de probabilité se fonde sur les priorités d'intervention établies en fonction des critères de pérennité : intervention à court terme (1 à 2 ans), intervention à moyen terme (2 à 5 ans) ou intervention à long terme (5 ans et plus).

4.2.3 Autres équipements (transformateurs, compensateurs, équipements civils, lignes)

Pour tous les autres équipements – transformateurs, compensateurs, équipements civils, lignes et autres –, la répartition sur l'axe de probabilité est déterminée pour l'instant par un ratio correspondant à l'âge de l'équipement divisé par sa durée de vie. La cote 1 correspond à un ratio de 85 pour cent alors que la cote 9 correspond à un ratio égal ou supérieur à 150 pour cent. Cette évaluation sera raffinée avec l'implantation éventuelle d'une démarche de mesure de l'état des équipements.

4.3 Impact d'une défaillance de fin de vie d'un équipement

La deuxième composante du risque est mesurée par l'impact d'une défaillance.

L'impact est déterminé par l'établissement de cinq cotes d'impact pondérées établissant l'impact potentiel de la défaillance d'un équipement sur le réseau et la clientèle, le fonctionnement du poste, la sécurité, l'environnement et les coûts collatéraux.

La pondération des cotes d'impact vise à refléter l'importance relative des différents facteurs de risque en se fondant sur l'expérience et le jugement des experts du Transporteur.

4.3.1 Impact sur le réseau et la clientèle (40 pour cent)

La plus forte pondération – 40 pour cent – est accordée à l'impact de la défaillance d'un poste sur le réseau et sur la clientèle.

La cote d'impact reflète le rangement stratégique du poste. Elle est établie en fonction des neuf paramètres suivants :

- capacité de transformation ou de transit;
- tension du poste (kV);
- absence de relève pour la charge du poste;
- poste ayant un impact sur la stabilité du réseau;
- poste faisant partie d'un plan de remise en charge du réseau;
- poste d'interconnexion;
- poste alimentant des clients prioritaires ou des infrastructures essentielles;
- poste alimentant des clients sans relève;
- poste alimentant des clients industriels de forte charge (ex. Grandes Entreprises)

4.3.2 Impact sur le fonctionnement du poste (20 pour cent)

Les différents équipements n'ayant pas la même importance stratégique, cette cote d'impact permet de les classer en fonction des conséquences d'une défaillance sur le

fonctionnement général du poste.

La cote d'impact sur le fonctionnement du poste est établie selon la sous-classe de priorité de chaque catégorie d'équipement. Les sous-classes de priorité regroupent les équipements en fonction de leur impact sur le réseau de transport d'électricité.

- Sous-classe 1 : projets absolument requis incluant les projets de remplacement d'appareils rendus hors d'usage à la suite d'un défaut important ou en réserve de la banque d'appareils majeurs (BAM) ou de la banque urgence ligne (BUL), et les projets requis afin de se coordonner avec des tiers (exemple : réfection de centrale).
- Sous-classe 2 : équipements ayant un impact majeur sur le fonctionnement adéquat d'une installation en mode dégradé, c'est-à-dire qu'advenant une panne d'alimentation du poste, la défaillance empêcherait la remise en réseau de l'installation dans un délai acceptable (accumulateurs, chargeurs de batteries, systèmes d'alimentation sans coupure SASC, groupes électrogènes, systèmes d'air comprimé, compresseurs et sécheurs d'air, services auxiliaires, etc.)
- Sous-classe 3 : équipements d'appareillage, d'automatismes, de compensation ou d'interconnexion jugés essentiels, c'est-à-dire les équipements qui, par leur situation physique ou géographique, ont un impact important sur la performance attendue du réseau et sur la qualité du service aux clients (disjoncteurs, inductances shunt, condensateurs shunt, protections et automatismes, lignes incluant les structures, poteaux, et traverses, etc.).
- Sous-classe 4 : fonctions principales d'une installation, c'est-à-dire les fonctions dont le délai de remplacement ou de réparation est moins long que celui des équipements de la sous-classe 3 (parafoudres isolateurs, conducteurs, fils de garde, etc.).
- Sous-classe 5 : fonctions qui n'ont pas un impact direct sur le bon fonctionnement des installations et sur la qualité du service (sectionneurs, jeux de barres, équipements civils, etc.).
- Sous-classe 6 : fonctions supportant une installation (entrepôts, démantèlements d'actifs).

Les équipements n'ayant pas d'impact sur le fonctionnement du poste sont exclus de

cette cote d'impact, c'est-à-dire les équipements de la sous-classe de priorité 1 appartenant à des projets absolument requis et ceux de la sous-classe 6 vu leur fonction support et de soutien dans une installation. Les équipements de la sous-classe 2 ont une cote d'impact plus élevée que celle des équipements de la sous-classe 3.

4.3.3 Impact sur la sécurité du public ou du personnel (20 pour cent)

Cette cote d'impact mesure le degré de gravité des conséquences potentielles d'une défaillance de l'équipement sur la santé et la sécurité des employés et du public.

En se fondant sur l'expérience et le jugement des experts du Transporteur, la cote est établie en fonction de l'évaluation de l'impact :

- impact faible;
- impact moyen;
- impact élevé.

4.3.4 Impact sur l'environnement (10 pour cent)

Cette cote d'impact mesure le degré de gravité des conséquences potentielles d'une défaillance de l'équipement sur l'environnement.

En se fondant sur l'expérience et le jugement des experts d'd, la cote est établie en fonction de l'évaluation de l'impact :

- impact faible;
- impact moyen;
- impact élevé.

4.3.5 Impact sur les coûts collatéraux (10 pour cent)

Cette cote d'impact vise à mesurer si la défaillance d'un équipement risque d'entraîner des coûts additionnels à son coût de remplacement, par suite de dommages causés à des équipements voisins.

En se fondant sur l'expérience et le jugement des experts du Transporteur, la cote est établie en fonction de l'évaluation de l'impact :

- impact faible;
- impact moyen;
- impact élevé.

4.4 Utilisation de la grille d'analyse du risque

Chaque équipement est inscrit dans la grille d'analyse du risque à l'intersection de sa cote de probabilité et de sa cote d'impact, tel qu'indiqué au tableau 3.

Le nombre apparaissant dans chaque carré correspond au nombre d'équipements ayant le même niveau de risque.

Hors critères	Impact	Probabilité									Nombre d'éq. à risque	% d'équip. à risque	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
325	9	33	102	3	115	54	5	83	6	7	Elevé	Elevé	733
3 253	8	281	430	94	318	138	113	24	42	102	420	1,7%	4 795
12 288	7	1 130	1 516	443	495	398	383	101	104	180			17 038
25 397	6	1 388	3 068	384	387	497	442	97	148	177	Fort	Fort	31 985
31 670	5	868	1 380	559	411	255	344	256	125	213	1 682	6,6%	36 081
21 942	4	397	524	365	264	221	169	189	86	407	Moyen	Moyen	24 564
19 900	3	379	545	560	402	236	210	91	180	567	6 368	25,1%	23 070
8 645	2	125	320	246	144	41	192	40	52	283	Faible	Faible	10 088
4 422	1	55	29	30	37	20	97	12	28	97	16 869	66,6%	4 827
127 842	Total	4 656	7 914	2 684	2 573	1 860	1 955	893	771	2 033	25 339	17%	153 181

Tableau 3 – Grille d'analyse du risque des équipements de postes (janvier 2007)

L'interprétation de la grille est simple. La zone en jaune regroupe les équipements les moins à risque; ceux ayant la plus faible probabilité de défaillance et pour lesquels une défaillance entraînerait des impacts faibles. À l'opposé, la zone en rouge regroupe les équipements les plus à risque; ceux ayant la plus forte probabilité de défaillance et pour lesquels une défaillance entraînerait des impacts majeurs.

La zone en orangé foncé regroupe les équipements à risque fort alors que la zone en orangé pâle regroupe les équipements à risque moyen.

La zone en vert regroupe les équipements qui ne sont pas jugés à risque en vertu des critères de pérennité.

Le risque global est établi au moyen d'un pourcentage calculé de la manière suivante :

- % des équipements à risque = nombre d'équipements à risque / nombre total d'équipements;
- % d'équipements à risque élevé = nombre d'équipements à risque élevé / nombre

d'équipements à risque.

Comme les équipements auront tendance à migrer avec le temps vers une probabilité de défaillance plus élevée si aucune intervention n'est faite en pérennité, la grille permet aussi de visualiser l'évolution temporelle du risque.

Les actifs de réseau qui ont été évalués dans la grille d'analyse du risque correspondent à 90 pour cent de la valeur d'actif et se répartissent comme suit : appareillage, systèmes d'automatismes, équipements civils et lignes aériennes (en développement).

Les autres équipements n'apparaissant pas dans la grille représentent 10 pour cent de la valeur d'actif et ils sont évalués au cas le cas, compte tenu de leur faible nombre. Ils se répartissent comme suit : compensateurs synchrones et statiques, lignes souterraines et convertisseurs.

La grille d'analyse du risque peut être appliquée au besoin à une classe d'équipements, à l'ensemble des équipements d'un territoire ou aux équipements d'une seule installation.

La grille permet à court terme de sélectionner les équipements nécessitant une intervention (remplacement ou remise à neuf) et, à long terme, d'anticiper l'évolution des risques à l'aide d'un outil de simulation qui sera présenté à la section suivante.

La grille d'analyse du risque permet enfin d'établir le niveau de risque résiduel subsistant après les investissements réalisés en maintien des actifs. Il s'agit du niveau de risque associé aux équipements ayant atteint la fin de leur durée de vie et pour lesquels aucune intervention n'a été planifiée. Dans ces cas, des mesures d'atténuation appropriées ou palliatives seront prescrites : adaptation des interventions en maintenance en fonction du vieillissement des équipements.

La grille d'analyse de risque du Transporteur correspond à un modèle utilisé dans l'industrie. Cette grille correspond, selon l'analyse du Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO), à un niveau d'estimation qui s'appuie sur l'événement le plus vraisemblable. C'est une situation enviable selon le CIRANO, les niveaux de sophistication élevés étant généralement réservés à la mesure des risques dans le domaine financier. La majorité des organisations se limitent au développement de mesures de niveau moindre pour les risques opérationnels. De plus, la grille d'analyse du risque du Transporteur a suscité l'intérêt de British Columbia BCTC

et a été jugée par la firme Hatch Energy comme étant avantageusement comparable aux méthodes utilisées par les autres entreprises d'électricité avec qui elle fait affaires.

4.5 Grille d'analyse du risque par famille d'actifs homogènes

Chacune des grilles ci-dessous présente la répartition, en fonction du risque, de l'ensemble des équipements composant la famille d'actifs homogènes. Il importe de souligner que certains équipements jugés à risque qui sont inclus dans ces grilles feront l'objet d'investissements de 25 M\$ et plus requérant une autorisation spécifique de la Régie. Les autres équipements jugés à risques pour lesquels il aura été établi en application de la stratégie de gestion de la pérennité qu'une intervention doit être effectuée en 2008, sont inclus dans la présente demande d'autorisation relative aux projets de moins de 25 M\$.

4.5.1 Équipements disjoncteurs

Hors critères	Impact	Probabilité									Nombre d'éq. à risque	% d'équip. à risque	Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9				
	9													
163	8	1	39	26	9	1						Elevé	Elevé	-
722	7	15	191	107	23	3	4	3	3		1	1	0,1%	239
3 005	6	17	230	123	51	29	11	6	4	3				1 072
2 105	5	16	225	88	30	12	4	1	1			Fort	Fort	3 479
777	4	3	42	30	6							25	1,8%	2 482
	3											Moyen	Moyen	858
	2											306	22,5%	-
	1											Faible	Faible	-
6 772	Total	52	727	374	119	45	19	10	8	4		1 026	75,6%	-
												1 358	17%	8 130

Tableau 4 - Grille d'analyse du risque des disjoncteurs (janvier 2007)

Le tableau 4 indique le nombre et le pourcentage de disjoncteurs correspondant à chaque niveau de risque.

La répartition des disjoncteurs sur l'axe de probabilité est basée sur les critères de pérennité. Cette répartition n'est pas linéaire mais proportionnelle au nombre de critères indiquant qu'un disjoncteur est à risque.

Les disjoncteurs à risque sont principalement des disjoncteurs à gros volume d'huile et des disjoncteurs pneumatiques.

Exemple d'établissement du niveau de risque

Le seul disjoncteur ayant un niveau de risque élevé (probabilité 9 x impact 7) est le disjoncteur pneumatique de type DFLK 230 kV mentionné en exemple à la page 27.

Probabilité (9)

Ce disjoncteur est jugé préoccupant en vertu de cinq des six critères de pérennité. La somme des valeurs calculées donne un total de 8,34 qui, arrondi à l'entier supérieur, correspond à la cote maximale de probabilité **9**.

Impact (7)

Sur le réseau et la clientèle : la capacité de transformation du poste (4/5), sa tension (4/5), son pourcentage de charge relevée (3/5), ses clients prioritaires (3/5), ses clients sans relève (2/5) et ses clients Grandes entreprises (5/5) lui accordent une cote 6 qui est pondérée à 40 pour cent, soit **2,4**.

Sur le fonctionnement du poste : le disjoncteur fait partie de la sous-classe 3, ce qui correspond à une cote 7 qui est pondérée à 20 pour cent, soit **1,4**.

Sur la sécurité du public et du personnel : advenant un bris du disjoncteur, il y a une possibilité de projection de porcelaine, ce qui correspond à un impact potentiel élevé, à une cote 9, qui est pondérée à 20 pour cent, soit **1,8**.

Sur l'environnement : le disjoncteur pneumatique ne contenant que de l'air, l'impact potentiel est faible, ce qui correspond à une cote 1, qui est pondérée à 10 pour cent, soit **0,1**.

Sur les coûts collatéraux : la possibilité de projection de porcelaine lors d'un bris entraîne un impact élevé, ce qui correspond à une cote 9, qui est pondérée à 10 pour cent, soit **0,9**.

La somme des cotes pondérées donne un total de 6,6 qui, arrondi à l'entier supérieur, correspond à la cote d'impact **7**.

4.5.2 Équipements sectionneurs

Hors critères	Impact	Probabilité									Nombre d'éq. à risque	% d'équip. à risque	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
	9										Élevé	Élevé	-
	8										1	0,1%	-
425	7	1		3				1		1	Fort	Fort	431
1 517	6	6	25	42	22	4	5	1			6	0,5%	1 622
14 615	5	14	211	199	195	27	5	10	1	3	Moyen	Moyen	15 280
9 565	4	5	66	106	60	16	3	4	1	11	306	27,3%	9 837
4 678	3	6	29	28	5	2	4				Faible	Faible	4 752
	2										809	72,1%	-
	1												-
30 800	Total	32	331	378	282	49	17	16	2	15	1 122	4%	31 922

Tableau 5 - Grille d'analyse du risque des sectionneurs (janvier 2007)

Le tableau 5 indique le nombre et le pourcentage de sectionneurs correspondant à chaque niveau de risque.

La répartition des sectionneurs sur l'axe de probabilité est basée sur les critères de pérennité. Cette répartition n'est pas linéaire mais proportionnelle au nombre de critères indiquant qu'un sectionneur est à risque.

Les sectionneurs sont les équipements les moins à risque, avec un pourcentage inférieur à 4 pour cent.

4.5.3 Équipements de transformation et Inductances

Hors critères	Impact	Probabilité									Nombre d'éq. à risque	% d'équip. à risque	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
314	9	32	101	3	115	53	4	83	6	7	Élevé	Élevé	718
2 150	8	139	206	67	298	102	96	24	23	102	397	6,1%	3 207
6 707	7	684	618	276	442	262	219	94	49	176	Fort	Fort	9 527
4 856	6	358	380	121	228	121	69	39	23	123	Fort	Fort	6 318
3 512	5	172	97	43	53	24		10	6	40	872	13,3%	3 957
2 432	4	184	44	10	24	31	22		12		Moyen	Moyen	2 759
758	3	26		3	1	12	3				2 033	31,0%	803
70	2										Faible	Faible	70
	1										3 258	49,7%	-
20 799	Total	1 595	1 446	523	1 161	605	413	250	119	448	6 560	24%	27 359

Tableau 6 - Grille d'analyse du risque des transformateurs et inductances (janvier 2007)

Le tableau 6 indique le nombre et le pourcentage de transformateurs et d'inductances correspondant à chaque niveau de risque.

La répartition des transformateurs sur l'axe de probabilité est basée sur le ratio de la durée de vie.

Les transformateurs à risque sont principalement des transformateurs de mesure.

4.5.4 Équipements de compensation (batteries de condensateur)

Hors critères	Impact	Probabilité									Nombre d'éq. à risque	% d'équip. à risque	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
	9										Élevé	Élevé	-
2	8			1	2						-	0,0%	3
40	7	2	1		2						Fort	Fort	7
199	6		4								Fort	Fort	44
929	5	7	10	3	5	1		2	2		2	1,1%	229
99	4	45	48	8	3	3	2		1	2	Moyen	Moyen	1 041
	3	10	8	7	2						21	11,6%	126
	2										Faible	Faible	-
	1										158	87,3%	-
1 269	Total	64	71	19	14	4	2	2	3	2	181	12%	1 450

Tableau 7 - Grille d'analyse du risque des batteries de condensateur (janvier 2007)

Le tableau 7 indique le nombre et le pourcentage de batteries de condensateur correspondant à chaque niveau de risque.

La répartition des batteries de condensateur sur l'axe de probabilité est basée sur le ratio de la durée de vie.

4.5.5 Autres équipements

Hors critères	Impact	Probabilité									Nombre d'éq. à risque	% d'équip. à risque	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
2	9										Élevé 1	Élevé 0,0%	2
78	8		1		7	2			1	89			
569	7	91	39	50	21	5	13	1	6		Fort 81	Fort 2,6%	795
2 304	6	292	180	83	61	76	51	3	9	14			
3 236	5	326	178	174	66	83	41	15	15	18	Moyen 522	Moyen 17,1%	4 152
3 661	4	28	90	7		1	11	12	3	14			
4 336	3	65	231	165	35	24		2		3	Faible 2 453	Faible 80,2%	4 861
3 091	2	37	171	131	62		7	1		1			
1 405	1	9	3	6	13					3	Total	14%	21 739
18 682	Total	848	893	616	265	191	123	34	34	53			

Tableau 8 - Grille d'analyse du risque des autres équipements (janvier 2007)

Le tableau 8 indique le nombre et le pourcentage des autres équipements (jeux de barres, systèmes d'air comprimé, parafoudres, groupes électrogènes) correspondant à chaque niveau de risque.

La répartition des autres équipements sur l'axe de probabilité est basée sur le ratio de la durée de vie.

Les équipements à risque sont principalement des parafoudres et des jeux de barres.

4.5.6 Systèmes d'automatismes

Hors critères	Impact	Probabilité									Nombre d'éq. à risque	% d'équip. à risque	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
833	9										Élevé 18	Élevé 0,3%	-
3 531	8	140	184			31	17		18				
13 078	7	322	660			108	145		44		Fort 458	Fort 6,4%	16 681
6 206	6	691	2 225			248	298	38	103				
2 133	5	191	597			30	246	183	80		Moyen 1 331	Moyen 18,7%	6 366
6 255	4	2	9			52	40	110	7				
3 292	3	2	2			1	97	9			Faible 5 307	Faible 74,6%	1 894
1 812	2		1			1	99	1					
37 140	1		1				81				Total	16%	44 254
37 140	Total	1 348	3 679	-	-	471	1 023	341	252	-			

Tableau 9 - Grille d'analyse du risque des systèmes d'automatismes (janvier 2007)

Le tableau 9 indique le nombre et le pourcentage des systèmes d'automatismes correspondant à chaque niveau de risque.

La répartition des systèmes d'automatismes sur l'axe de probabilité est basée sur les priorités d'intervention établies en fonction des critères de pérennité : intervention à court terme (1 à 2 ans), intervention à moyen terme (2 à 5 ans) ou intervention à long terme (5 ans et plus). Une période d'intervention courte indique une probabilité élevée.

Les systèmes d'automatismes à risque sont principalement des relais de protection et la technologie à risque est la technologie statique.

4.5.7 Équipements civils

Hors critères	Impact	Probabilité									Nombre d'éq. à risque	% d'équip. à risque	Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9				
	9													
	8											Élevé	Élevé	-
	7											-	0,0%	-
10	6													10
184	5	7		10	12	11	5	7	9	35		Fort	Fort	280
440	4	25	38	39	32	31	26	12	9	133	193	4,4%	785	
954	3	66	180	181	119	75	73	50	58	336	Moyen	Moyen	2 092	
2 839	2	250	263	335	343	185	81	69	129	358	1 277	28,9%	4 852	
1 749	1	73	140	105	77	39	65	28	23	129	Faible	Faible	2 428	
906		40	18	19	20	16	1	6	9	16	2 946	66,7%	1 051	
7 082	Total	461	639	689	603	357	251	172	237	1 007	4 416	38%	11 498	

Tableau 10 - Grille d'analyse du risque des équipements civils (janvier 2007)

Le tableau 10 indique le nombre et le pourcentage des équipements civils correspondant à chaque niveau de risque.

La répartition des équipements civils sur l'axe de probabilité est basée sur le ratio de la durée de vie.

La grille ne tient toutefois pas compte actuellement de l'état de ces équipements, une donnée essentielle pour évaluer leur pérennité, préciser la probabilité d'une défaillance et mesurer leur vieillissement.

4.5.8 Lignes de transport

La grille d'analyse du risque des lignes aériennes de transport est en développement. Elle tiendra compte progressivement de l'état de ces équipements, une donnée essentielle pour évaluer leur pérennité, préciser la probabilité d'une défaillance et mesurer leur vieillissement.

5. Portefeuille de solutions (remplacement ou remise à neuf)

Lorsqu'une intervention en pérennité s'impose, les équipements peuvent faire l'objet d'une remise à neuf ou d'un remplacement. Une étude technico-économique est réalisée pour déterminer le meilleur choix entre ces deux solutions.

L'intervention optimale pour un type d'équipement pourrait être une combinaison de remplacement et de remise à neuf dans des proportions variées.

Analyses technico-économiques réalisées à ce jour (remise à neuf ou remplacement) :

Étude compresseurs – 2003

Étude disjoncteurs PK – 2003

Étude disjoncteurs KSO, BQOB, BR à 120 kV – 2004

Étude disjoncteurs réenclencheurs de type MVE – 2004

Étude transformateurs de puissance et inductances – 2005

Étude disjoncteurs 13 à 69 kV – 2006

Des orientations sont ensuite établies à partir des recommandations découlant des analyses technico-économiques et de différents critères de gestion portant sur les coûts globaux d'achat et de maintenance, la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité des pièces, la disponibilité de l'expertise, les enjeux relatifs à la santé et à la sécurité, ainsi que les aspects environnementaux. Ces orientations qui sont présentées à la pièce HQT-3, Document 1 permettent d'orienter la fréquence des interventions en pérennité et les scénarios de solutions dans les unités opérationnelles.

Lorsqu'un remplacement est planifié, les équipements sont soumis à un processus de normalisation et d'homologation tenant compte des aspects suivants : performance technique, économie du coût global, sécurité du personnel et environnement.

Lorsqu'une remise à neuf est planifiée, elle doit être exécutée conformément au guide de remise à neuf approuvé pour ce type d'équipement par son unité d'expertise et faire l'objet du contrôle de qualité qui y est prescrit. Ces guides permettent d'assurer l'uniformité des travaux et la qualité des projets.

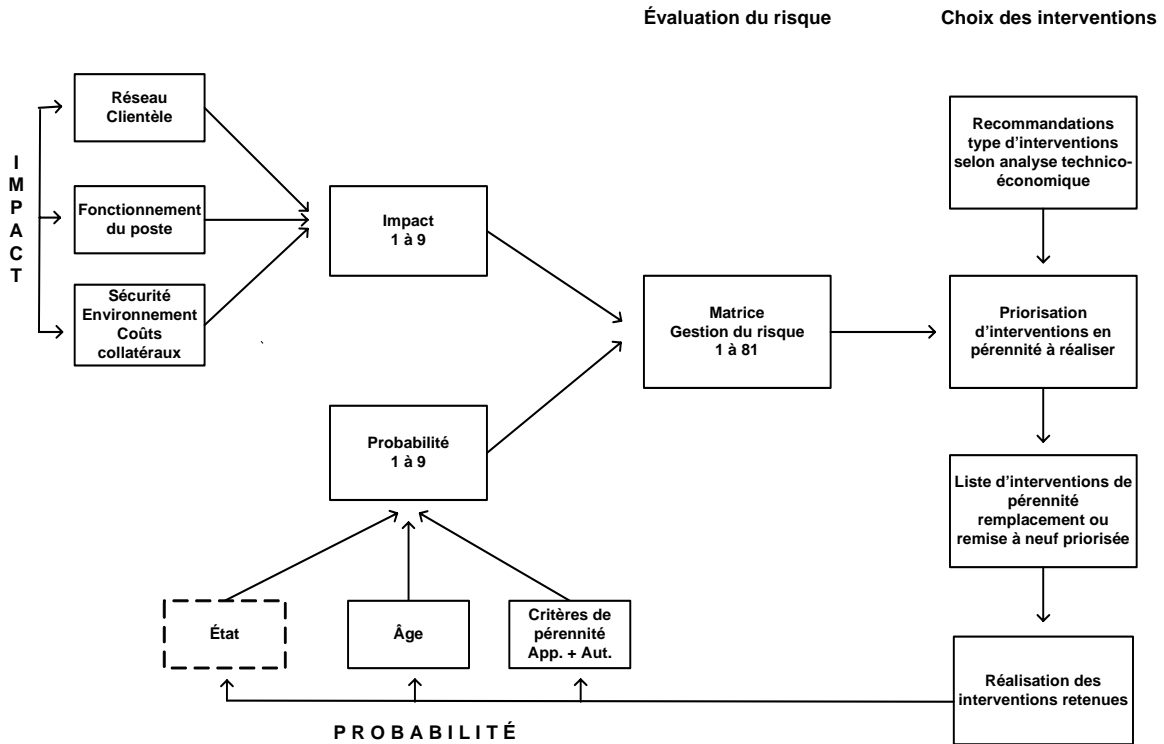


Figure 8 - Choix d'interventions intégrant la gestion du risque

Après l'évaluation des risques, l'établissement des priorités d'intervention et la décision de procéder à un remplacement ou à une remise à neuf, une liste de projets de pérennité priorisés est dressée en vue de leur réalisation.

La réalisation des projets retenus aura pour effet d'ajuster l'âge et l'état des équipements, qui cesseront de figurer au nombre des équipements à risque.

6. Évaluation du niveau d'investissement optimal

Ultimement, la stratégie de gestion de la pérennité vise l'évaluation du niveau d'investissement optimal en maintien des actifs.

L'optimisation des investissements doit permettre l'étalement des interventions de manière à gérer, à moyen et à long terme, l'évolution du vieillissement des équipements. Elle vise notamment une évolution du niveau de risque tendant à se stabiliser dans le temps et une optimisation des coûts et du niveau requis de main-d'œuvre.

6.1 Modèle prévisionnel de vieillissement des équipements

L'évaluation du niveau d'investissement optimal utilise, pour certaines familles d'équipements, une application informatique qui permet de simuler les effets de différents scénarios de gestion sur le vieillissement du parc d'actifs, sur les ressources nécessaires pour le maintenir et sur l'évolution prévue du niveau de risque.

L'évaluation réalisée par un outil de simulation se fonde sur un modèle prévisionnel de vieillissement des équipements utilisant des courbes du taux de défaillance, sur les données relatives aux ressources requises et sur la grille d'analyse du risque présentée à la section précédente.

L'établissement, au cas par cas, de la durée de vie restante d'un équipement n'est pas une science exacte. Il est généralement admis, dans la documentation, que les signes annonciateurs pertinents de fin de vie n'apparaissent que lorsque celle-ci est proche. Cependant, la précision et l'exactitude des prévisions deviennent significatives lorsqu'elles sont appliquées à de larges populations.

La prédiction de la durée de vie restante des équipements se fonde sur quatre grands principes :

- à long et à moyen termes :
 - la durée de vie restante ne peut être prédite avec précision que sur de larges populations d'équipements par des outils statistiques;
 - des paramètres statistiques permettent de réduire l'incertitude sur

certaines tranches de population (par exemple, les transformateurs utilisés à 110 pour cent de leur capacité nominale verront leur durée de vie diminuée d'un nombre d'années mesurable);

- à moyen et à court termes :
 - les essais et les mesures peuvent permettre de détecter des anomalies fournissant des informations importantes sur la durée de vie restante;
 - la méthode la plus sûre de prédiction de la durée de vie restante consiste à réaliser des essais et à prendre des mesures de plus en plus fréquentes lorsque l'équipement prend de l'âge.

6.1.1 Modélisation du vieillissement à partir des courbes

Pour modéliser le vieillissement des classes d'actifs homogènes dans une perspective de gestion de la pérennité, les courbes du taux de défaillance, servent d'intrant au simulateur.

Ces courbes (voir figure 9), dites « en forme de baignoire », permettent de visualiser le taux de défaillance attendu d'une population d'actifs. On y distingue trois grandes phases d'évolution :

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

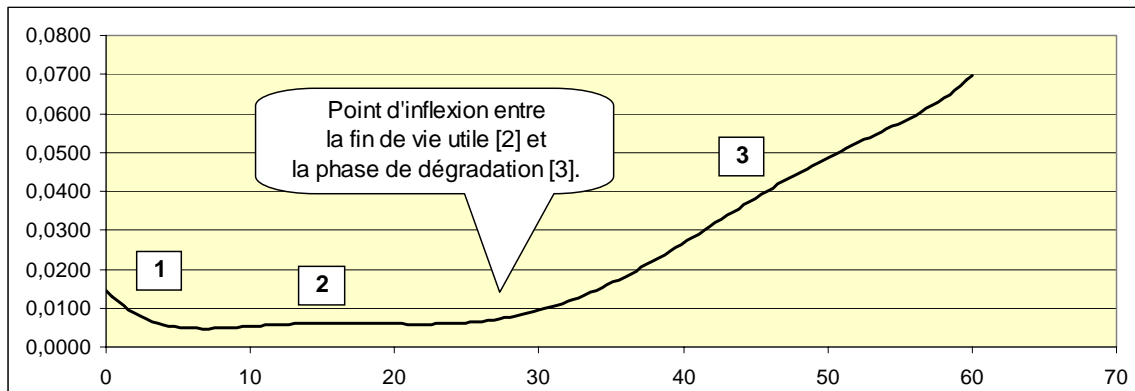


Figure 9 – Courbe du taux de défaillance (en baignoire) en fonction des années

Lorsqu'elle est appliquée à une large population d'équipements, la courbe du taux de défaillance est un outil statistique permettant d'obtenir des résultats précis.

En matière de modélisation du vieillissement d'équipements, trois types de courbes sont particulièrement utilisés :

- les courbes du taux de défaillance précédemment décrites (voir figure 9);
- les courbes de la loi de survie (voir figure 10);
- et les courbes de densité de probabilité (voir figure 11).

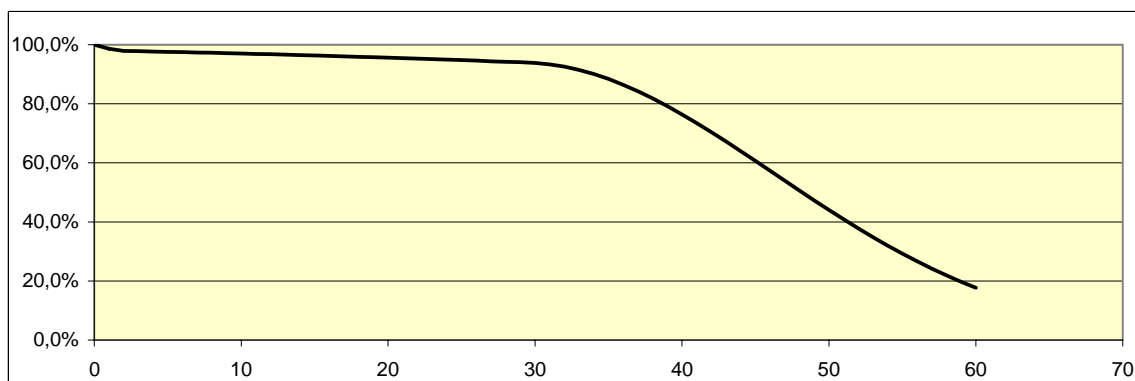
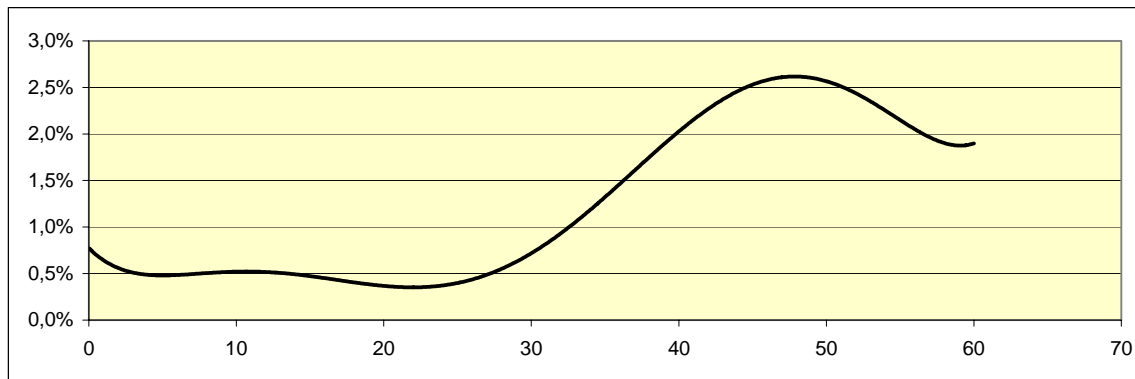


Figure 10 – Courbe de la loi de survie (% des actifs restants en fonction des années)



*Figure 11 – Courbe de densité de probabilité
 (% des actifs défaillants par rapport à la quantité initiale)*

Ces trois types de courbes sont mathématiquement reliés entre eux. Dès qu'un type de courbe est disponible, on peut déduire mathématiquement les deux autres.

Les données tirées des systèmes du Transporteur permettent, à partir de résultats historiques validés, de produire les lois de survie de plusieurs familles d'actifs homogènes. Les courbes du taux de défaillance, nécessaires à l'outil de simulation, sont déduites des lois de survie qui présentent le pourcentage des actifs restants d'une population en fonction de son âge, permettant ainsi d'apprécier l'effet de l'évolution du taux de défaillance sur la décroissance d'une population d'actifs.

La figure 12 illustre la loi de survie de l'ensemble des disjoncteurs à haute tension inventoriés. La durée de vie d'un actif peut être établie aux conditions suivantes :

- la durée de vie de l'actif est calculée à partir de l'année de sa mise en service;
- un actif remis à neuf est considéré comme deux actifs : le premier ayant terminé sa durée de vie et le second étant au début de sa durée de vie.

En rapportant graphiquement le pourcentage des actifs actuels par rapport au nombre mis en service à chacune des années antérieures, on obtient la loi de survie de la classe d'actifs.

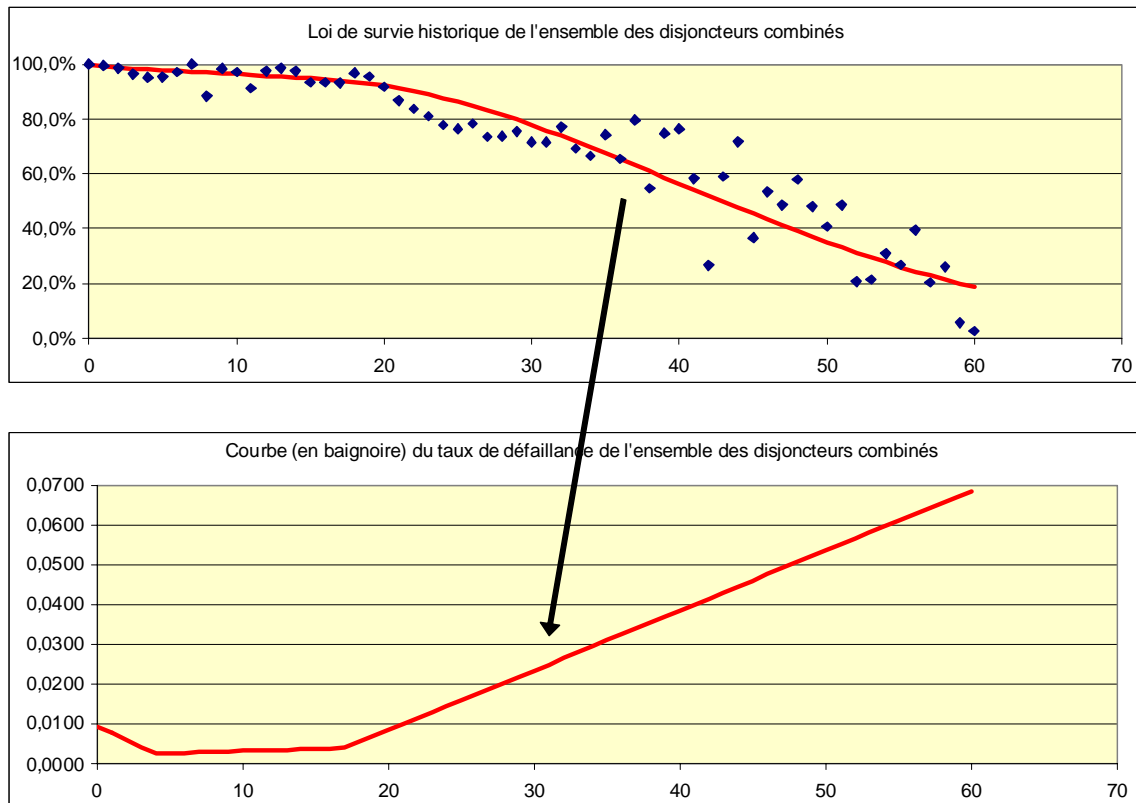


Figure 12 – Dédution d'une courbe du taux de défaillance à partir d'une courbe de la loi de survie

Aux fins de la simulation, plus de 56 courbes du taux de défaillances ont été déduites par type d'actif ayant un profil similaire de vieillissement.

6.2 Modèle d'utilisation des ressources requises

Dans l'évaluation du niveau d'investissement optimal, l'outil de simulation tient aussi compte des ressources requises pour assurer la pérennité des actifs.

Ainsi, l'outil de simulation est alimenté par des choix d'interventions (remplacement et/ou remise à neuf) en fonction, s'il y a lieu, des résultats d'analyses technico-économiques spécifiques aux différentes familles d'équipements.

Cette prise en compte des ressources requises peut par exemple entraîner le devancement ou le report des interventions afin d'éviter qu'au cours d'une année ultérieure le niveau des interventions et des investissements dépassent la capacité de réalisation (organisation du travail, main-d'œuvre, disponibilité du réseau).

L'outil de simulation tient aussi compte du nombre d'heures-personnes requis pour procéder aux interventions et de la valeur des investissements nécessaires.

6.3 Paramètres de la simulation

Certains paramètres peuvent être imposés à l'outil de simulation afin qu'il établisse le niveau d'investissement optimal en fonction des objectifs poursuivis, par exemple :

- le pourcentage de durée vie nécessaire avant une intervention (ex. : 85 pour cent);
- le nombre maximal d'interventions réalisables par année pour une famille d'actifs;
- le pourcentage d'accroissement du nombre d'interventions sur une famille d'actifs (ex. : pas plus de 10 pour cent d'accroissement des interventions sur les disjoncteurs par rapport à l'année précédente);
- le risque toléré;
- des critères tels le gain et l'inflexion des boucles d'asservissement, deux facteurs qui déterminent le rythme de correction d'une situation qui s'écarte des objectifs de gestion.

6.4 Intégration de la grille d'analyse du risque

La grille d'analyse du risque décrite précédemment est intégrée au simulateur, qui l'utilise à deux niveaux :

- elle permet de sélectionner les équipements les plus à risque lors du choix des interventions;
- elle permet d'anticiper l'évolution des risques découlant du scénario de gestion simulé.

6.5 Types de simulations

L'outil de simulation peut être utilisé de deux manières différentes pour déterminer le niveau d'investissement optimal : en boucle ouverte ou en boucle fermée.

6.5.1 Simulation en boucle ouverte

La simulation en boucle ouverte (voir figure 13) rend compte d'une gestion de la pérennité basée sur l'attente d'une défaillance complète (*Run To Failure*) de l'équipement sans aucune intervention planifiée. Ce type de simulation est dit « à boucle ouverte » car il n'utilise pas les résultats obtenus pour atteindre des objectifs. Il ne reflète que le comportement historique des actifs vieillissants en utilisant les courbes du taux de défaillance comme prédicteur et il correspond à un niveau de risque élevé.

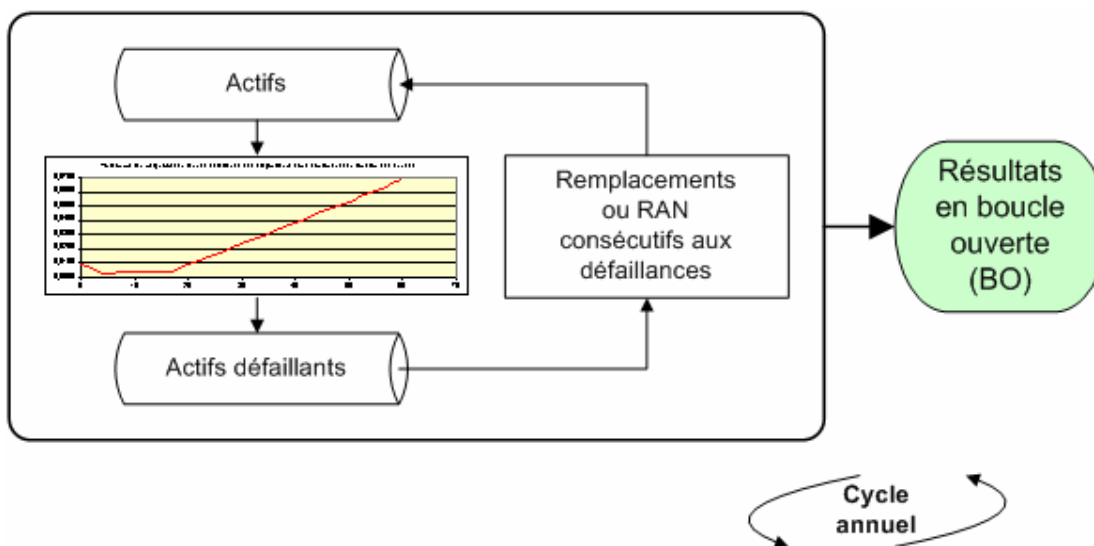


Figure 13 – Fonctionnement des simulations en boucle ouverte

6.5.2 Simulation en boucle fermée

La simulation en boucle fermée (voir figure 14) rend compte d'une gestion de la pérennité basée sur la gestion du risque et elle permet de planifier une intervention en pérennité avant la défaillance. Elle utilise les résultats obtenus (d'où l'appellation « boucle fermée ») pour atteindre les objectifs visés. Elle permet de simuler les interventions sur les équipements avec une défaillance prévisible et d'y ajouter des interventions de remplacement ou de remise à neuf planifiées à partir d'une liste portant sur des actifs non encore défaillants, mais préoccupants d'après leur positionnement dans la grille d'analyse du risque.

Le niveau d'intervention ou d'investissement optimal (résultats souhaitables pour corriger les différences observées) est établi en comparant la situation actuelle (résultats en boucle fermée) à la situation recherchée (résultats visés déduits de la stratégie de

gestion à l'étude). Si les interventions sur les défaillances prévisibles ne permettent pas d'atteindre les résultats souhaitables, des interventions de remplacement ou de remise à neuf sont ajoutées jusqu'à l'atteinte du niveau souhaitable.

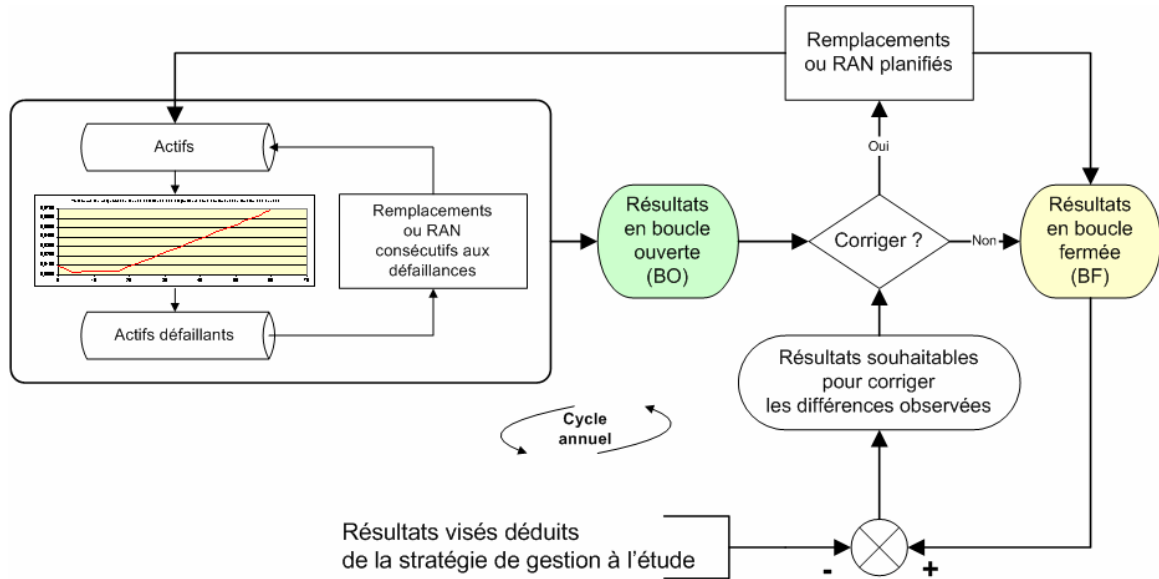


Figure 14 – Fonctionnement des simulations en boucle fermée

7. Stratégie optimale d'intervention à long terme

La stratégie optimale à long terme (étalée dans le temps) vise à établir le niveau d'investissement requis pour assurer la pérennité tout en contrôlant le niveau de risque. Elle est basée sur différents scénarios d'interventions qui varient selon le type d'équipements et les données archivées : appareillage, lignes, équipements civils et systèmes d'automatismes. On distingue alors deux types d'équipements, soit les équipements ayant un profil de vieillissement et les équipements sans profil de vieillissement, impliquant une stratégie avec ou sans profil de vieillissement.

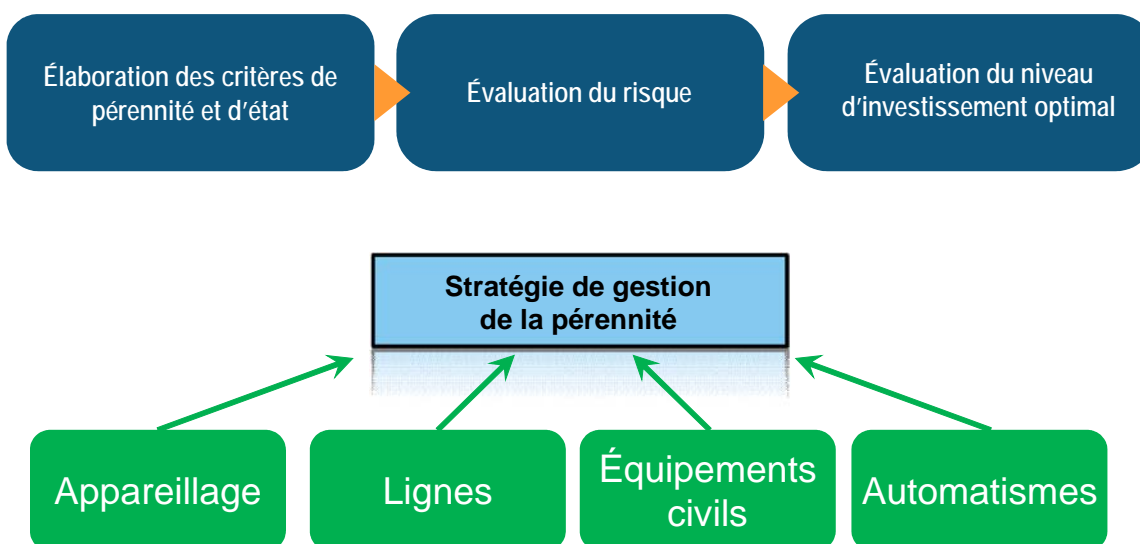


Figure 15 – Stratégie optimale d'intervention à long terme

7.1 Stratégie optimale d'intervention avec profil de vieillissement

7.1.1 Appareillage

L'appareillage regroupe les classes d'équipements suivants ayant un profil de vieillissement : accumulateurs, batteries de condensateurs, chargeurs d'accumulateurs, compresseurs, disjoncteurs, inductances à air, inductances de mise à la terre, inductances shunt, parafoudres, sécheurs, sectionneurs, transformateurs de mesure, transformateurs de puissance avec et sans changeur de prises sous charge CPC, transformateurs de service auxiliaire.

Les données archivées du Transporteur permettent de déduire les courbes du taux de défaillance (en baignoire) de ces équipements. Cependant, l'état de ces équipements est évalué localement et sert à valider la priorité des interventions.

Le Transporteur a élaboré et analysé cinq scénarios d'interventions au moyen de l'outil de simulation pour l'appareillage. Les deux premiers scénarios utilisent une simulation en boucle ouverte et les trois suivants, une simulation en boucle fermée.

L'élaboration de ces scénarios vise à déterminer un niveau de risque visant à se stabiliser dans le temps et des niveaux d'intervention (main-d'œuvre) et d'investissement optimisés.

La démarche analytique réalisée pour l'appareillage se résume comme suit :

- déterminer les cas limites, c'est-à-dire le scénario le plus à risque et le scénario le moins à risque (par l'analyse des scénarios 1, 2 et 3);
- établir la relation entre le niveau de risque et l'investissement nécessaire (par l'analyse des scénarios 4 et 5);
- proposer un scénario (scénario proposé).

7.1.1.1 SCÉNARIOS D'INTERVENTIONS

Tous les équipements d'appareillage des postes et leur comportement en vieillissement ont été paramétrés dans l'outil de simulation.

Il est à noter que les courbes du taux de défaillance développées jusqu'à maintenant et utilisées pour le comportement en vieillissement des équipements seront raffinées et améliorées au cours des prochaines années, pour tenir compte notamment d'une analyse plus fine des données disponibles et de l'intégration de l'évaluation de l'état des équipements au modèle.

D'autres considérations viendront aussi éventuellement améliorer la stratégie:

- une appréciation plus juste de la capacité de réalisation des interventions en pérennité;
- la disponibilité du réseau;
- une évaluation améliorée des gains du regroupement des interventions en

pérennité dans un projet;

- l'arrimage des projets de pérennité avec les projets de croissance.

Scénario 1 – Attente de la défaillance (simulation en boucle ouverte)

Le scénario 1 permet de visualiser les conséquences d'une stratégie consistant à attendre la défaillance complète (*Run To Failure*) d'un équipement avant de procéder à son remplacement ou à sa remise à neuf. Le prédicteur utilise les courbes du taux de défaillance (en baignoire) déduites des données archivées.

Une épuration des données a été réalisée afin d'exclure les équipements remplacés avant terme pour cause de croissance (conversion du 12 kV au 25 kV) ou de problèmes spécifiques de conception ou de sécurité (performance inadéquate, problèmes de sécurité ou d'environnement, etc.).

Scénario 2 – Attente de la défaillance avec prédicteur amélioré (simulation en boucle ouverte)

Dans une perspective de saine gestion, le Transporteur a remplacé ou remis à neuf plusieurs équipements avant leur défaillance, à la suite de l'identification de symptômes précurseurs de fin de vie prochaine par ses experts techniques. Les courbes du taux de défaillance (en baignoire) déduites des données archivées du Transporteur incluent donc une part de ces interventions.

En tenant compte de ces équipements qui ont été remplacés ou remis à neuf avant une défaillance, le scénario 1 est corrigé par le scénario 2. Ce scénario utilise, comme prédicteur, des courbes du taux de défaillance (en baignoire) allongées de 20 pour cent dont les résultats prédictifs des mortalités sur des équipements témoin (ayant un taux de mortalité connu) sont plus proches de la réalité. Cela permet d'accroître la marge de manœuvre des simulations en boucle fermée et de prévoir des coûts moindres plus conformes à la réalité.

Scénario 3 – Maintien du risque au minimum (simulation en boucle fermée)

Le scénario 3 permet d'évaluer les ressources nécessaires pour maintenir le risque au minimum en utilisant le même prédicteur (courbes du taux de défaillance) que le

scénario 1. Ce niveau de risque correspond à une planification des interventions (remplacement ou remise à neuf) le plus près possible du point d'inflexion (figure 16), juste avant la phase de dégradation. C'est à ce point qu'on obtient un niveau minimal de risque. Il s'agit cependant du plus coûteux des trois premiers scénarios.

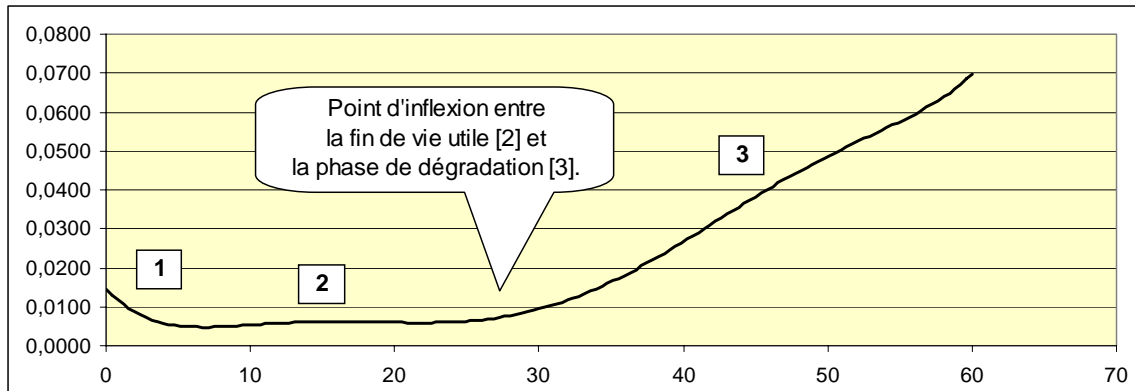


Figure 16 – Courbe (en baignoire) du taux de défaillance en fonction des années

Les figures 17 et 18 illustrent et permettent de comparer l'évolution de l'investissement et du niveau de risque prévus selon les scénarios 1, 2 et 3.

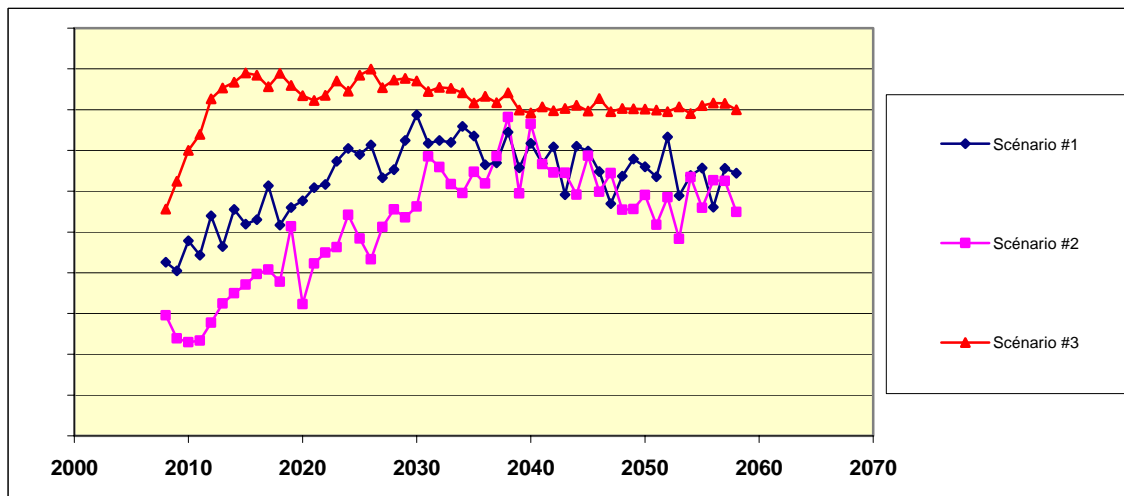


Figure 17 – Évolution des investissements prévus selon les scénarios 1, 2 et 3

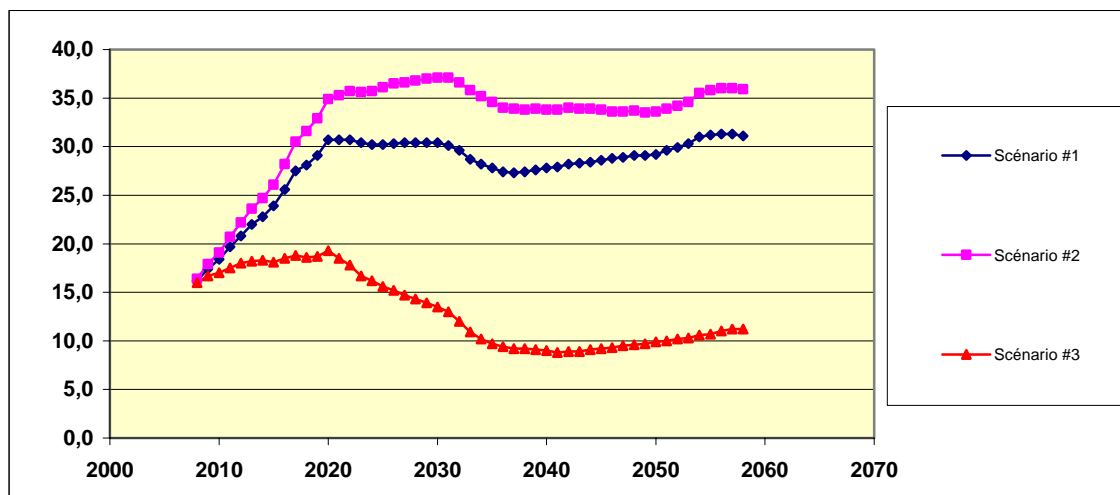


Figure 18 – Niveau de risque (en %) prévu selon les scénarios 1, 2 et 3

Analyse des scénarios 1, 2 et 3

Selon les courbes du scénario 3, un investissement important serait nécessaire à l'atteinte d'un niveau de risque minimal. Cependant, l'ampleur des interventions à réaliser (vague prévue d'équipements vieillissants) ne permet pas d'abaisser le risque avant 2020.

En considérant l'attente de la défaillance (*Run To Failure*) du scénario 1, l'investissement prévu est en croissance pendant une longue période allant jusqu'en 2030.

Scénario 4 – Recherche du risque constant (simulation en boucle fermée)

Le scénario 4 recherche la relation entre le niveau de risque atteint et les ressources nécessaires pour atteindre ce risque en utilisant le même prédicteur (mêmes courbes du taux de défaillance) que le scénario 1.

De nombreuses simulations ont été réalisées afin d'identifier la corrélation entre les ressources allouées (investissement, nombre d'interventions annuelles, main-d'œuvre) et les effets anticipés sur les risques encourus (pourcentage des équipements à risque, taux de défaillance, âge des équipements, etc.). Au total, 56 modèles de courbes en baignoire différentes regroupées en 16 classes d'équipements (au sens de la pérennité) ont été analysées séparément.

Les simulations permettent d'établir les consignes (taux de renouvellement) et les paramètres nécessaires au maintien à long terme du parc d'équipements au niveau de risque actuel.

Scénario 5 – Risque contrôlé avec prédicteur amélioré (simulation en boucle fermée)

Le scénario 5 intègre les avantages des courbes du taux de défaillance corrigées du scénario 2 et utilise les consignes et les paramètres du scénario 4 pour maintenir à long terme le risque au niveau actuel.

Les figures 19 à 22 permettent de comparer l'investissement, le niveau de risque, l'âge moyen et le taux de défaillance prévus selon les scénarios 1, 2, 3 et 5.

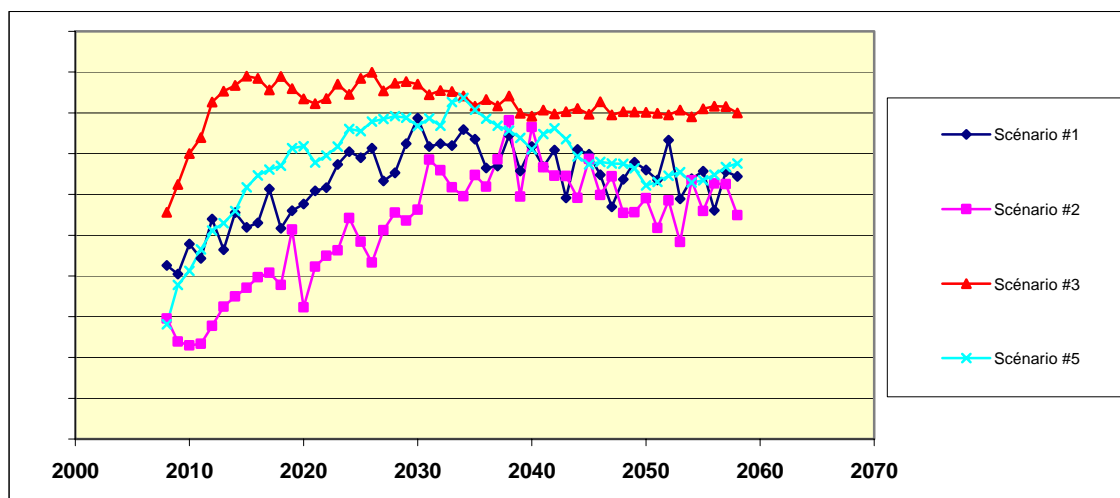


Figure 19 –Évolution des investissements prévus selon les scénarios 1, 2, 3 et 5

En termes d'investissements, le scénario 5 apparaît nettement moins onéreux que le scénario 3 qui correspond au maintien du risque au minimum.

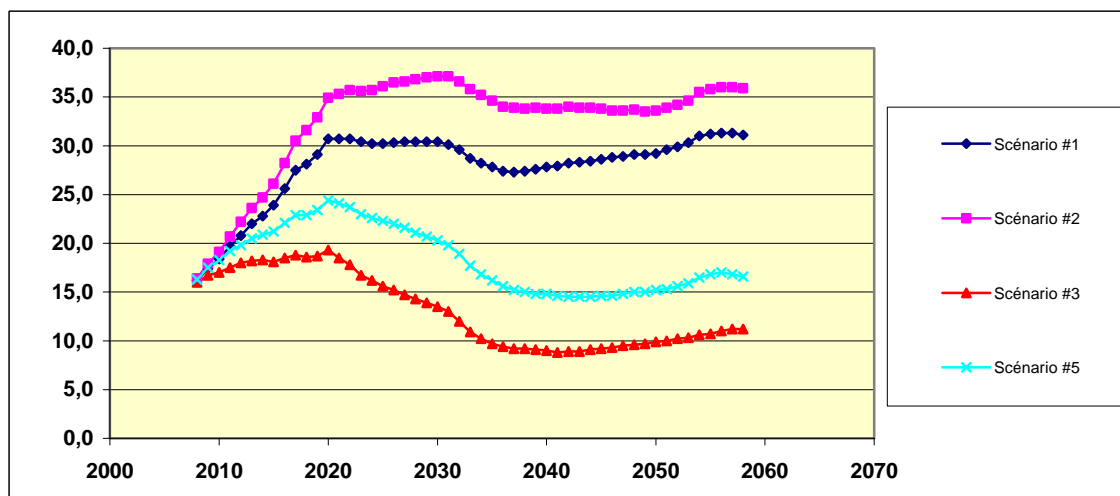


Figure 20 – Niveau de risque (en %) prévu selon les scénarios 1, 2, 3 et 5

Avec l'ampleur de la vague prévue d'équipements vieillissants, le niveau de risque du scénario 5 s'élève significativement jusqu'en 2020, pour s'abaisser par la suite. Ce n'est qu'à très long terme que le niveau de risque devient relativement constant.

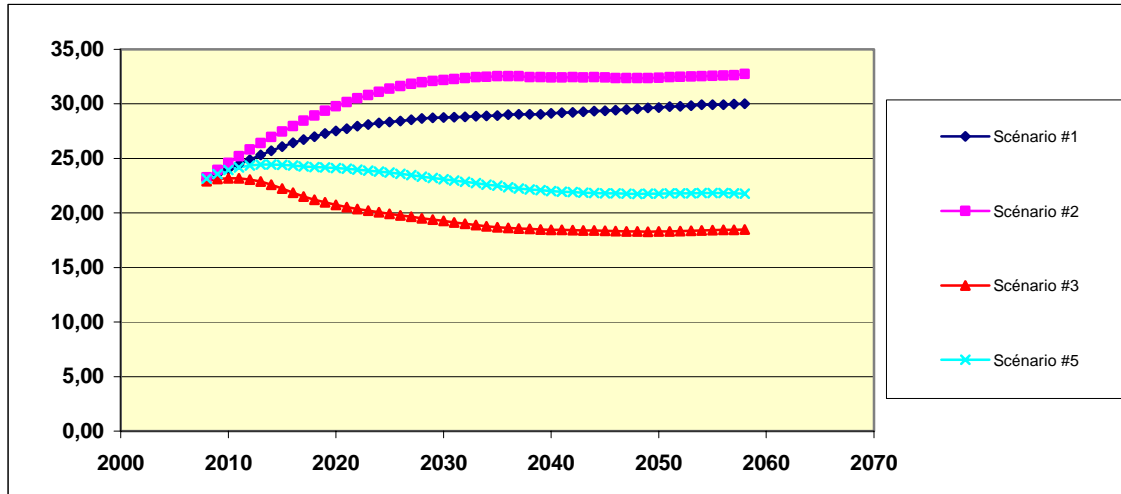


Figure 21 – Prévion de l'âge moyen des équipements selon les scénarios 1, 2, 3 et 5

Le scénario 5 est le scénario le plus apte à maintenir le parc d'équipements à son niveau d'âge actuel.

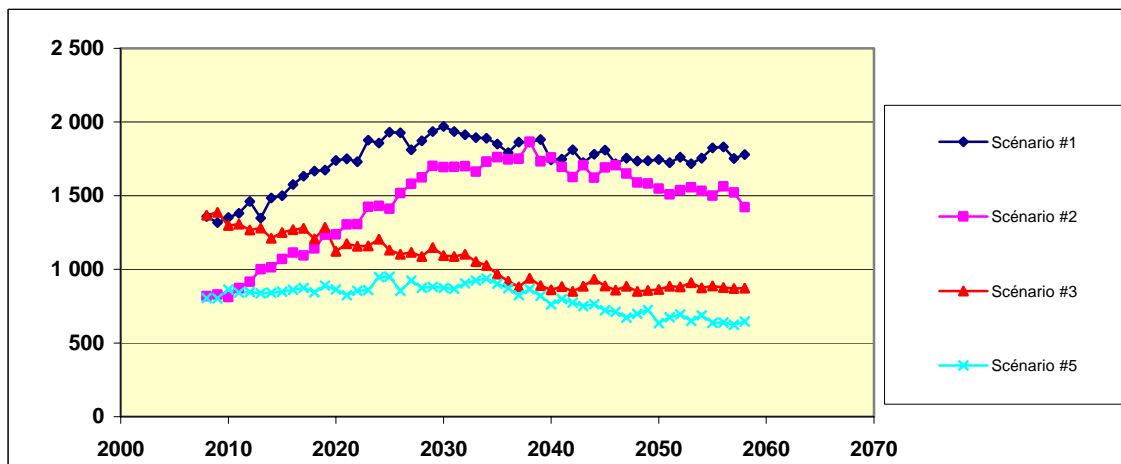


Figure 22 – Prévion du taux de défaillance selon les scénarios 1, 2, 3 et 5

Le taux de défaillance selon le scénario 5 est comparable à celui du scénario 3 à long terme.

Scénario proposé

Le scénario proposé par le Transporteur vise à établir le niveau d'investissement optimal pour la pérennité du parc d'actifs à long terme tout en contrôlant le niveau de risque. Ce niveau d'investissement optimal prend en considération plusieurs facteurs dont les risques encourus, les ressources financières et humaines requises, ainsi que l'âge et le taux de défaillance du parc d'équipements. Afin de gérer adéquatement le parc d'équipements vieillissants, le Transporteur juge opportun d'étaler dans le temps les interventions et les investissements afin de planifier les besoins additionnels en main d'œuvre et la disponibilité des équipements sur le réseau de transport.

Le scénario proposé par le Transporteur est un amalgame des acquis établis par l'analyse des scénarios 1 à 5. Afin de tenir compte de toutes les possibilités d'optimisation, le Transporteur a analysé séparément les 16 classes d'équipements homogènes des appareillages électriques et mécaniques. En effet, la tolérance au risque est différente d'une famille à l'autre. En procédant ainsi, il est possible de minimiser l'investissement nécessaire en tolérant un niveau de risque supérieur sur les classes d'équipements qui s'y prêtent. La fonction et la facilité de remplacement de ces équipements (faibles coûts, interventions simples et de courte durée, disponibilité des équipements de remplacement, etc.) sont considérés dans cette sélection.

À la suite de cette analyse, le Transporteur propose une double approche de gestion de la pérennité en divisant les familles d'équipements de la manière suivante :

Appareillage	<u>Gestion en boucle ouverte</u> Résultant d'une défaillance (<i>Run to Failure</i>) ou conditionné par le résultat d'un test (Scénario 1)	<u>Gestion en boucle fermée</u> Risque contrôlé avec les courbes du taux de défaillance améliorées (Scénario 5)
Équipements Disjoncteurs	<i>Disjoncteurs à 600V</i>	<i>Disjoncteurs</i>
Équipements Sectionneurs	<i>Sectionneurs</i>	<i>Sans objet</i>
Équipements de transformation et inductances	<i>Inductances à air Transformateurs de services auxiliaires</i>	<i>Inductances de mise à la terre Inductances shunt Transformateurs de mesure Transformateurs de puissance</i>
Équipements de compensation (inductances exclus)	<i>Sans objet</i>	<i>Batteries de condensateurs</i>
Autres équipements	<i>Accumulateurs Chargeurs d'accumulateurs Parafoudres</i>	<i>Compresseurs Sécheurs</i>

Tableau 11 – Double approche de gestion de la pérennité

Le Transporteur retient le scénario 1 (attente de la défaillance) pour la gestion de la pérennité des sept classes d'équipements suivants : accumulateurs, chargeurs d'accumulateurs, disjoncteurs à 600 V, inductances à air, parafoudres, sectionneurs et transformateurs de services auxiliaires. Tel que mentionné précédemment, le scénario 1 comprend une part de saine gestion consistant à intervenir juste à temps à la suite de l'identification de symptômes précurseurs de fin de vie prochaine par les experts techniques (exemple : résultat d'un test). Cette approche implique cependant un accroissement du risque qui exigera une surveillance plus serrée de ces équipements en fin de vie et des interventions plus nombreuses en maintenance.

Le Transporteur retient le scénario 5 (risque contrôlé) pour la gestion de la pérennité des neuf autres classes d'équipements : batteries de condensateurs, disjoncteurs, inductances de mise à la terre, inductances shunt, transformateurs de mesure, transformateurs de puissance, compresseurs et sécheurs. Le niveau de risque prévu

continuera à augmenter à court et moyen termes pour se stabiliser à long terme au niveau actuel de risque de ces équipements.

Ces approches sont par ailleurs bonifiées par deux autres facteurs d'optimisation : les économies résultant du regroupement des interventions dans un projet et le taux d'accroissement annuel des ressources pour corriger une situation.

- *Économies résultant du regroupement des interventions dans un projet*

La gestion de la pérennité des neuf classes d'équipements en boucle fermée comprend l'ajout d'interventions planifiées. Celles-ci seront normalement planifiées dans le cadre de projets. L'intégration des interventions à un projet entraîne des économies d'échelle par rapport aux coûts d'une intervention sur un seul équipement. Après analyse des effets de divers taux d'économie, le Transporteur estime que l'approche par projet permettra de réduire les coûts de 20 pour cent.

Cette économie d'échelle est intégrée aux résultats du scénario proposé.

- *Taux d'accroissement annuel des ressources pour corriger une situation*

Les figures 23 et 24 permettent de comparer l'investissement et le niveau de risque prévus selon le taux d'accroissement annuel des ressources (3 pour cent, 5 pour cent et 10 pour cent) utilisé pour corriger une situation.

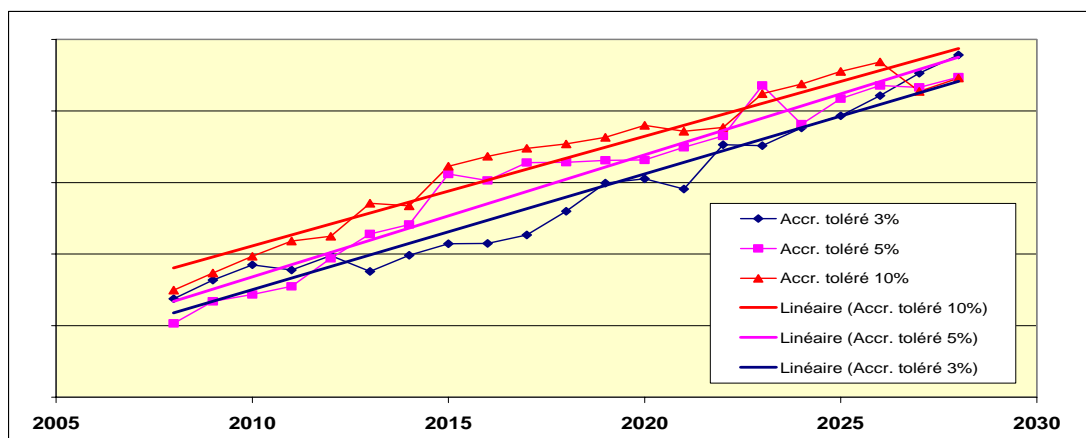


Figure 23 – Évolution des investissements prévus selon le taux d'accroissement annuel des ressources pour corriger une situation (boucle fermée)

Le taux d'accroissement des ressources est un des facteurs qui détermine la

vitesse à laquelle on cherche à corriger une situation qui s'écarte des buts recherchés. En pratique, les coûts sont remis à plus tard avec un niveau de risque plus élevé à gérer. La figure 23 montre une économie anticipée sur une période d'environ 20 ans.

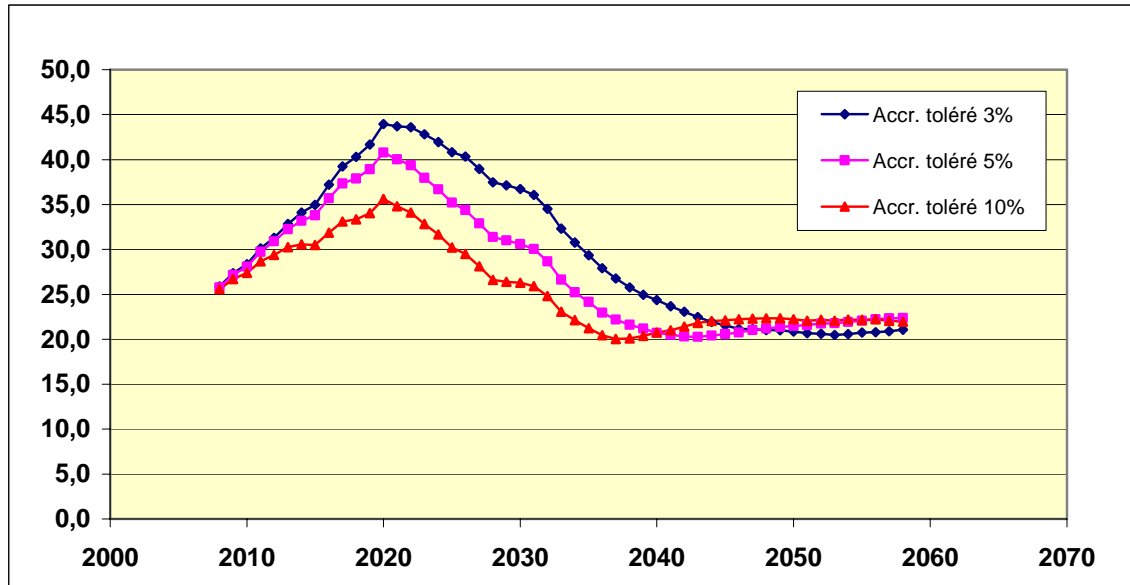


Figure 24 – Niveau de risque (en %) prévu selon le taux d'accroissement annuel des ressources utilisé (équipements gérés en boucle fermée seulement)

Le Transporteur a par conséquent choisi pour l'instant d'utiliser une tolérance au taux d'accroissement annuel des ressources de 5 pour cent.

Prévisions associées au scénario proposé

Les figures 25 à 28 illustrent l'évolution des investissements, du niveau de risque, de l'âge moyen des équipements et du taux de défaillance selon le scénario proposé par le Transporteur.

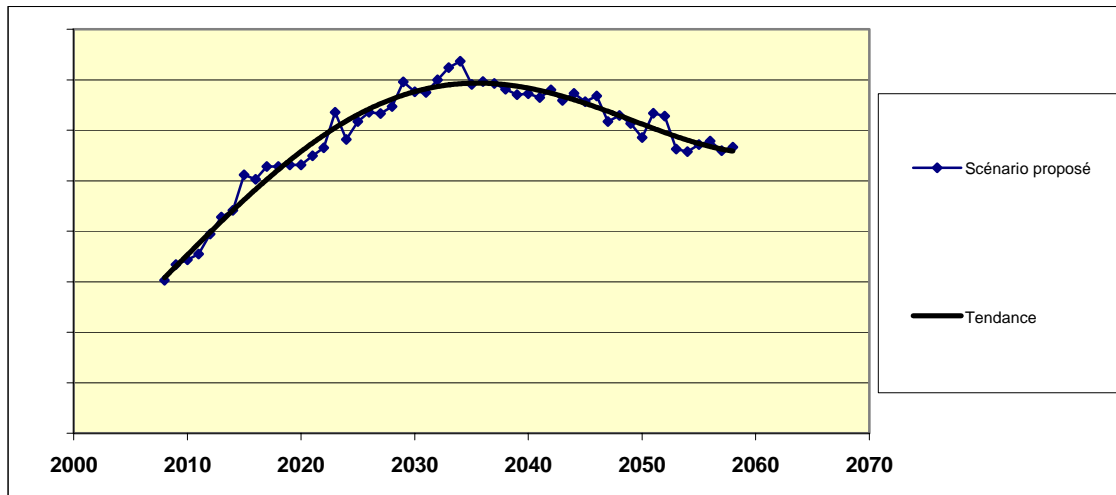


Figure 25 – Évolution des investissements prévus selon le scénario proposé

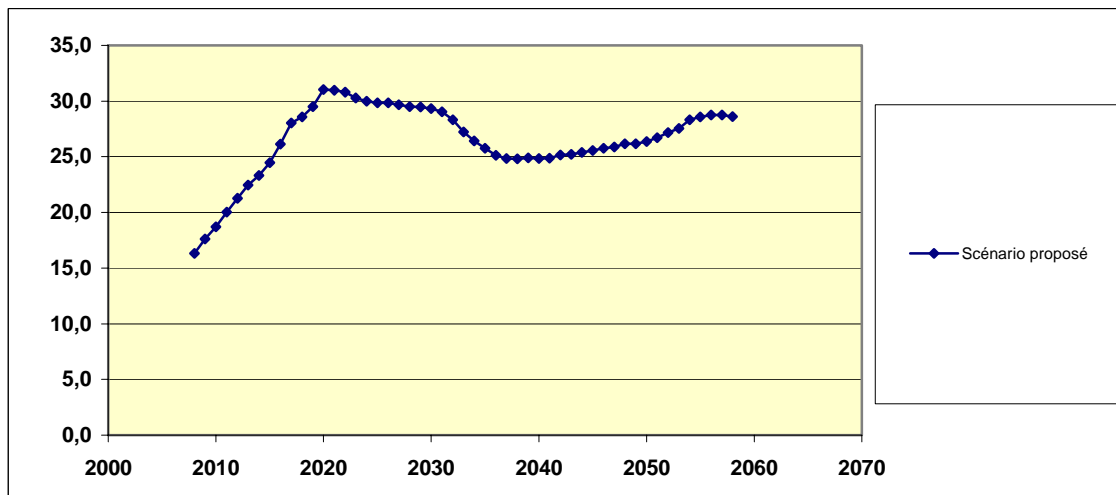


Figure 26 – Niveau de risque (en %) prévu selon le scénario proposé

Le Transporteur prévoit gérer un volume d'équipements à risque beaucoup plus important que par le passé, compte tenu de l'investissement optimisé qui est proposé. La figure 26 indique le niveau de risque additionnel à gérer pour le Transporteur.

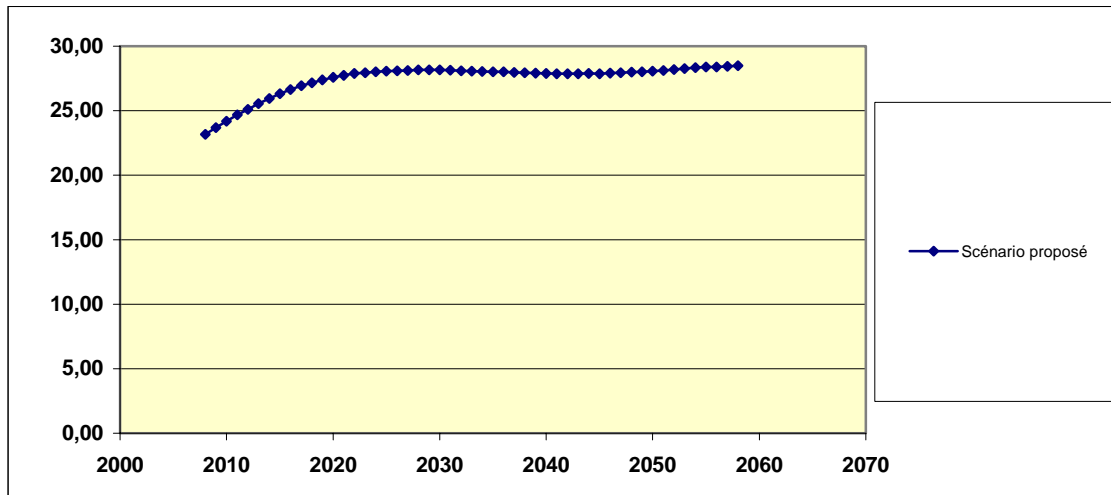


Figure 27 – Prédiction de l'âge moyen selon le scénario proposé

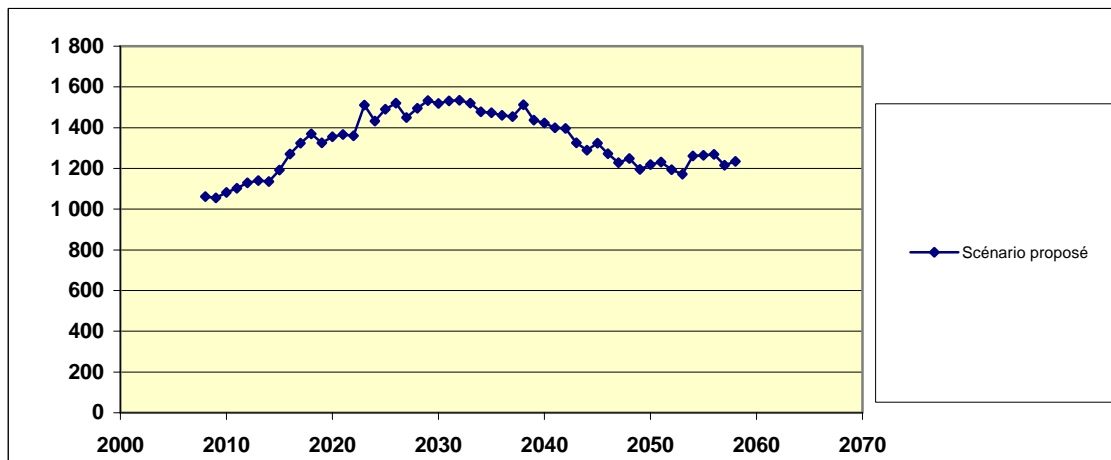


Figure 28 – Prédiction du taux de défaillance selon le scénario proposé

Le vieillissement croissant du parc au cours de la prochaine décennie (figure 27) sera accompagné d'un accroissement significatif du pourcentage des équipements à risque (figure 26). Un accroissement normal de la maintenance est donc à prévoir. D'une part, le niveau de maintenance corrective qui est proportionnel à l'âge du parc ne peut que suivre ces tendances. D'autre part, la saine gestion dicte d'augmenter la maintenance prédictive pour détecter les symptômes précurseurs de fin de vie prochaine d'équipements. L'expérience et la documentation en matière de gestion des actifs indiquent que ces symptômes apparaissent généralement peu de temps avant la fin de vie. Le Transporteur veillera donc à augmenter ses efforts de détection des symptômes en harmonie avec l'augmentation des équipements à risque (équipements en fin de vie potentielle).

Pour une gestion de la pérennité des équipements en boucle fermée seulement (figure 29), c'est-à-dire à risque contrôlé, le niveau de risque ira en augmentant jusqu'en 2020 pour s'abaisser par la suite. Cette augmentation résulte de la vague prévue d'équipements vieillissants que le Transporteur devra gérer.

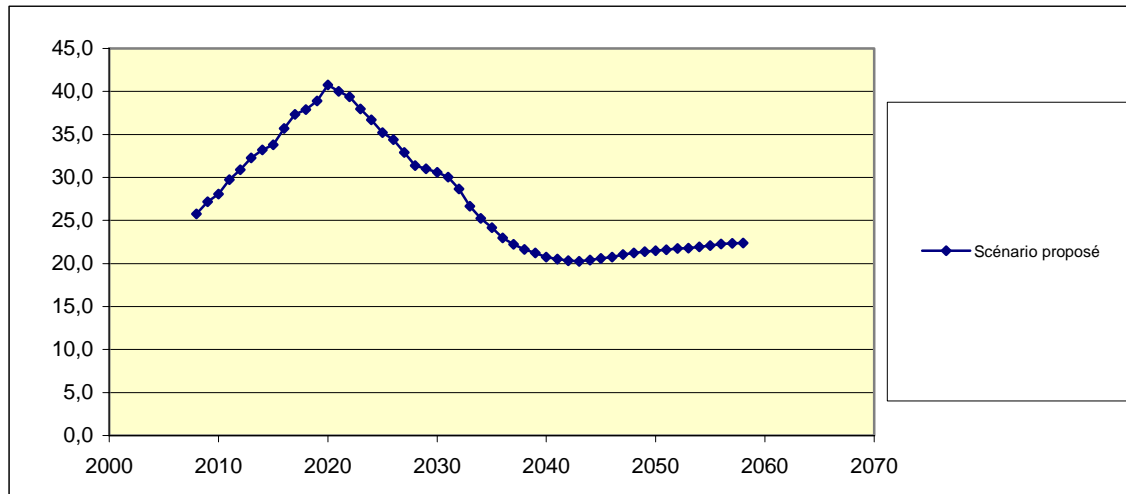


Figure 29 – Niveau de risque (en %) prévu selon le scénario proposé pour une gestion des équipements en boucle fermée seulement

Le scénario proposé par le Transporteur (figure 30) comprend des volets d'optimisation importants. L'investissement prévu se rapproche davantage de celui du scénario le moins coûteux (scénario 2 : attente de la défaillance avec prédicteur amélioré) que de celui du plus coûteux (scénario 3 : maintien du risque minimum).

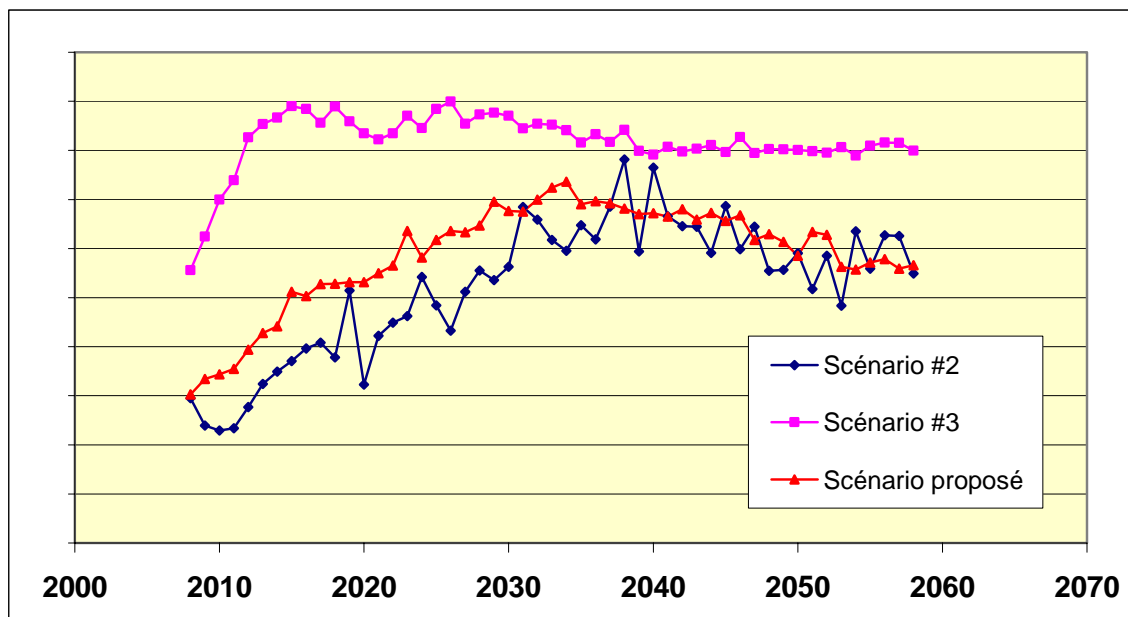


Figure 30 – Évolution des investissements prévus selon les scénarios 2, 3 et proposé

7.1.2 Équipements civils

Dans ce cas, une bonne connaissance de l'état individuel des équipements est essentielle à l'évaluation de la pérennité des actifs. La grille d'analyse du risque est complétée pour les équipements civils, mais ne tient pas compte de leur état.

La grille sera ultérieurement complétée par une évaluation de l'état. La grille d'analyse du risque complétée ainsi que l'état seront ensuite intégrés à l'outil de simulation pour évaluer le niveau d'intervention et d'investissement optimal. La stratégie optimale à long terme dépendra du degré de détérioration observé de l'état (vétusté). Selon l'hypothèse que le vieillissement des équipements civils est similaire à celui de l'appareillage, l'investissement prévu à long terme pourrait augmenter considérablement, mais à un rythme qui dépendra de l'état des équipements.

Pour le moment, les interventions suivantes ont été retenues selon la démarche en trois étapes décrite à la page 10 : remplacement et réparation de bâtiments, remplacement des clôtures et réparation des bases en béton.

7.1.3 Lignes

Dans le cas des lignes aériennes, l'état des équipements est une donnée essentielle à l'évaluation de la pérennité de plusieurs actifs. Cette donnée n'étant pas entièrement

documentée, la grille d'analyse du risque est en développement et sera complétée par une évaluation de l'état.

La grille d'analyse du risque complétée et l'état pourront ensuite être intégrés à l'outil de simulation pour évaluer le niveau d'intervention et d'investissement optimal. La stratégie optimale à long terme sera fonction du profil de vieillissement et du taux de détérioration observé de l'état (vétusté). Selon l'hypothèse que le vieillissement des lignes aériennes est similaire à celui de l'appareillage, l'investissement prévu à long terme pourrait augmenter considérablement, mais à un rythme qui dépendra de l'état des équipements.

Pour le moment, les interventions suivantes ont été retenues selon la démarche en trois étapes décrite à la page 10 (excluant l'application de l'outil de simulation): remplacement des poteaux et traverses de bois, remplacement des isolateurs sur les lignes à haute tension, remplacement des autres composantes selon le degré de détérioration observé de l'état et remplacement des câbles à l'huile par des câbles à sec pour les lignes souterraines.

7.2 Stratégie optimale d'intervention sans profil de vieillissement

7.2.1 Systèmes d'automatismes

La pérennité des systèmes d'automatismes ayant peu de liens avec les facteurs liés au vieillissement des équipements, la méthodologie retenue ne fait pas appel à l'outil de simulation, mais plutôt aux notions de vétusté et d'obsolescence.

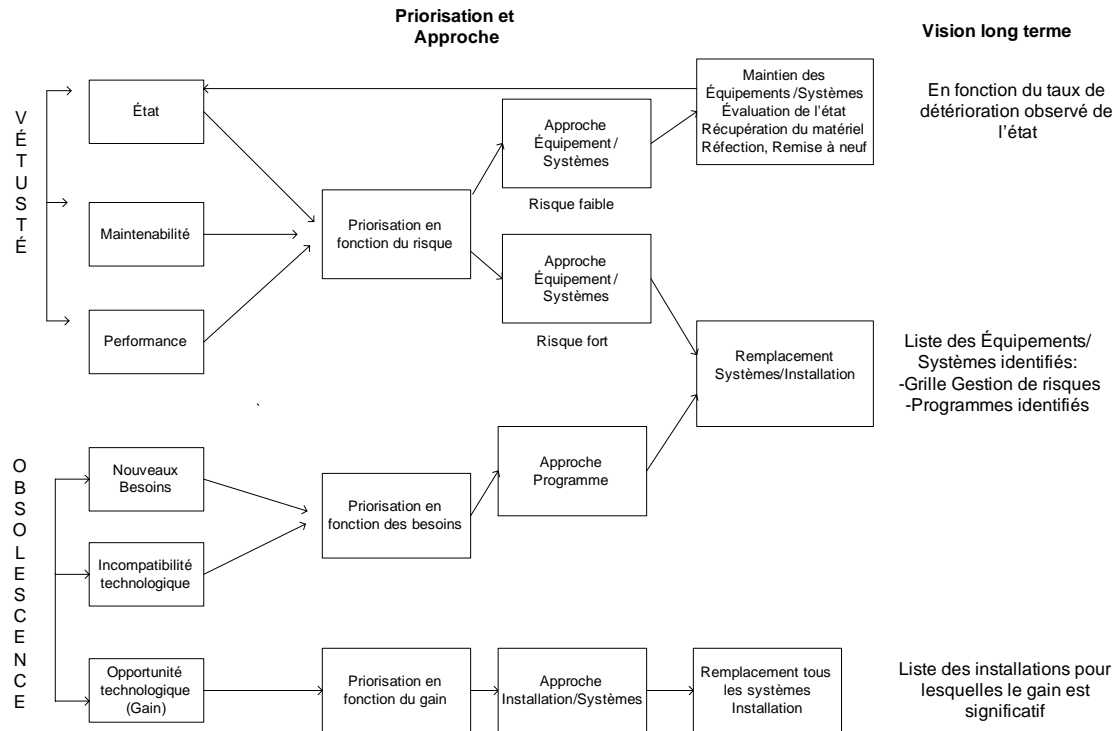


Figure 31 – Méthodologie pour les systèmes d'automatismes

Les critères de pérennité actuels des systèmes d'automatismes évaluent leur vétusté, mais très peu leur obsolescence. Plusieurs entreprises de services publics ont amorcé des projets majeurs de remplacement de leurs systèmes automatismes jugés obsolètes par une numérisation importante des protections de leur réseau de transport.

Dans le cadre de l'élaboration de la stratégie de gestion de la pérennité, plusieurs scénarios ont été développés et étudiés pour définir une vision à long terme de la pérennité des systèmes d'automatismes. En 2007, différents scénarios de numérisation ont été analysés, pour tous les postes ou une partie d'entre eux, selon un échéancier variant de 15 à 20 ans.

Un projet-pilote et un groupe de travail ont été mis en place pour évaluer le potentiel de gain des différents scénarios étudiés. De plus, les projets de numérisation devront être coordonnés avec d'autres critères-déclencheurs comme le remplacement du bâtiment ou de l'ensemble des équipements d'un poste. Les projets de numérisation seront planifiés et réalisés graduellement, selon les occasions et les gains estimés.

La stratégie optimale d'intervention dépendra de :

- la vétusté (performance, maintenabilité, état) : systèmes ciblés de la grille d'analyse du risque (ex. : remplacement de la technologie statique);
- l'obsolescence : systèmes dans des installations pour lesquelles le gain technologique est significatif (ex. : remplacement de la technologie électromécanique par la technologie numérique).

Selon l'hypothèse que le vieillissement des systèmes d'automatismes est similaire à celui de l'appareillage, l'investissement prévu à long terme pourrait augmenter considérablement, mais à un rythme qui dépendra des autres critères déclencheurs, des occasions technologiques et des gains estimés.

Pour le moment, les interventions ont été retenues selon la démarche en trois étapes décrite à la page 10 (excluant l'application de l'outil de simulation).

7.3 Cas particulier de l'Île de Montréal

Les installations de l'Île de Montréal font l'objet d'une approche particulière. Une étude en pérennité est en préparation pour tenir compte des installations à haut niveau de risque et des problématiques de vieillissement spécifiques aux installations extérieures et intérieures. La priorité sera accordée aux parties d'installations à 12 kV et 69 kV, de même qu'à certains équipements électriques et civils préoccupants.

De plus, les besoins de croissance et de conversion de tension d'artères exprimés par le Distributeur devront être pris en considération.

8. Évaluation et suivi de la stratégie

Dans une perspective d'amélioration continue, le Transporteur entend assurer un suivi de la conformité de sa gestion de la pérennité à la présente stratégie.

Le suivi donnera lieu à une évaluation rigoureuse de la performance du Transporteur en matière de gestion de la pérennité et à une actualisation des critères de pérennité au besoin.

9. Activités de maintenance liées à la stratégie de pérennité

Selon le scénario proposé, tel qu'il a été présenté précédemment, le pourcentage d'équipements à risque doublera de 2007 (14,8 pour cent) à 2020 (30,0 pour cent). Les façons de maintenir le parc d'équipements doivent évoluer en fonction de son vieillissement.

Pour évaluer avec précision la vie résiduelle des équipements, des actions additionnelles ou plus fréquentes doivent être réalisées : prise d'échantillons pour la réalisation d'essais destructifs et non-destructifs, suivi de détérioration et suivi de l'évolution de l'état visuel. Le partage des méthodologies avec la firme Hatch Energy a fait ressortir la nécessité de hausser le degré de surveillance et d'inspection en fin de vie utile afin d'évaluer la vie résiduelle avant la défaillance finale.

En plus des actions additionnelles de surveillance et d'inspection reliées à l'évaluation de l'état, les réparations deviennent aussi de plus en plus fréquentes et importantes.

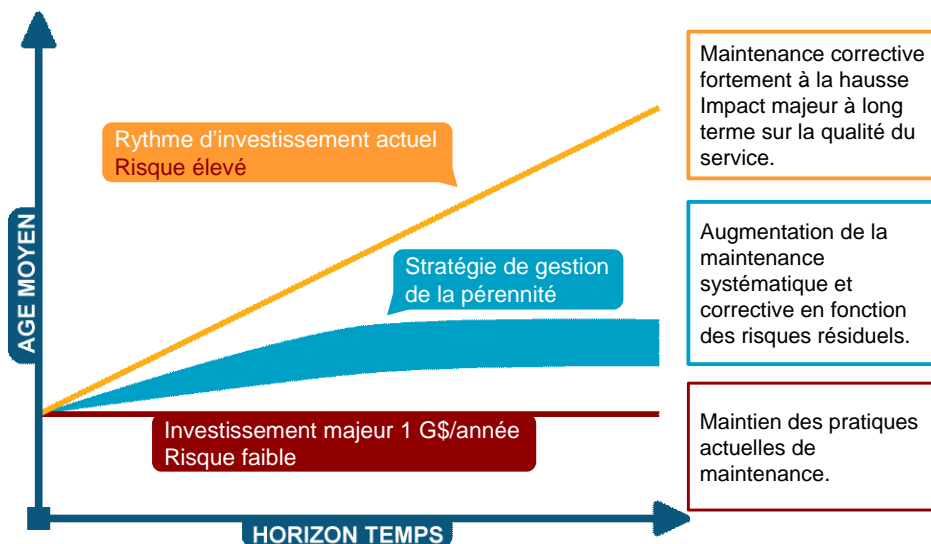


Figure 32 – Impact de la stratégie sur la maintenance

La stratégie de gestion de la pérennité aura pour conséquence de maintenir en service des équipements plus âgés, ce qui entraînera une hausse des risques résiduels. Afin de mitiger les effets de cette hausse, il faudra augmenter les ressources matérielles et humaines en maintenance. Ces ressources serviront à réaliser des inspections plus fréquentes permettant de surveiller l'état des équipements, à exécuter des essais avant et après la maintenance, à assurer la réalisation de la maintenance préventive et à effectuer un plus grand nombre de réparations d'équipements en panne.

Le Transporteur adaptera les normes de maintenance en fonction du vieillissement et poursuivra ses efforts d'amélioration de l'efficacité et de productivité.

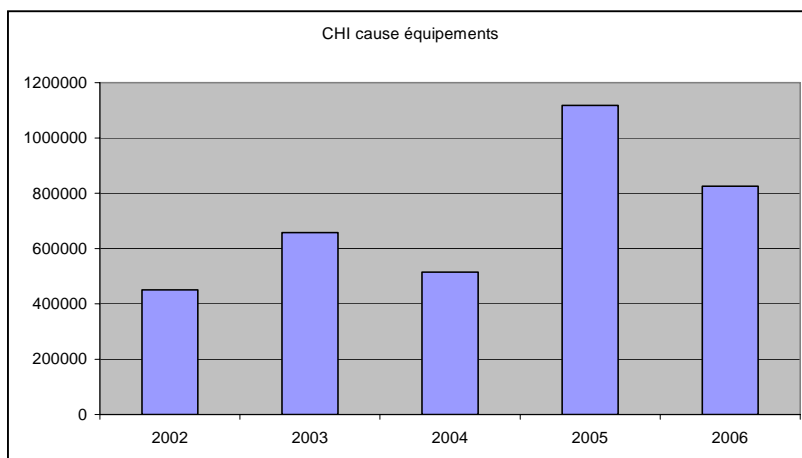
10. Impact de la stratégie sur l'indice de continuité

Il est difficile d'établir un lien direct du risque encouru sur l'indice de continuité. Il s'agit en fait de risques évités qui se mesurent difficilement.

Face à un parc d'équipements de plus en plus vieillissants, les bris d'équipements augmentent de même que le nombre d'interruptions dues aux équipements, causant ainsi un effet sur l'indice de continuité qui n'est ressenti qu'à moyen ou long terme.

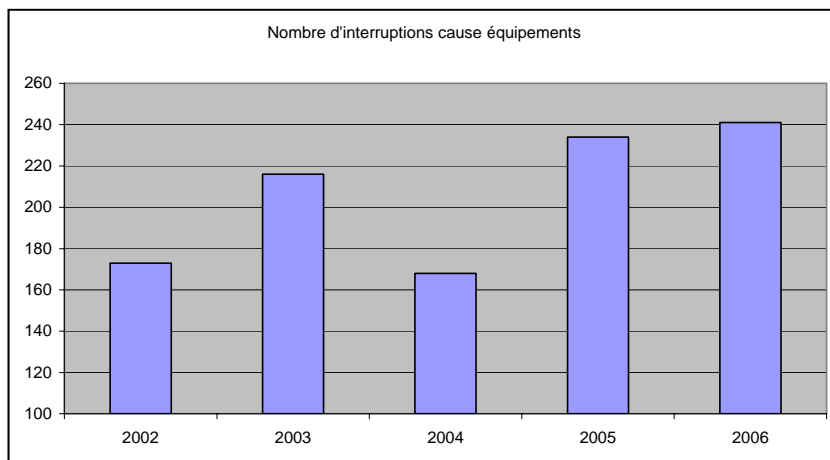
Les figures ci-après illustrent les impacts négatifs d'une réduction de la maintenance systématique sur la continuité du service électrique. Depuis 2002, les interruptions de service occasionnées par des bris d'équipements ont presque doublé. Ainsi, pour l'ensemble du réseau, les bris d'équipements ont causé des interruptions qui ont augmenté de 420 000 heures-clients à 810 000 heures-clients entre 2002 et 2006 (voir Figure 33).

Figure 33



En valeur absolue, le nombre des interruptions causées par des bris d'équipements est passé de 175 à 240 au cours de la même période (voir Figure 34).

Figure 34



La stratégie de gestion de pérennité cible les équipements à risque pour lesquelles une intervention en pérennité est requise et ce afin d'éviter une hausse du nombre de pannes et du risque.

Conclusion

La stratégie optimisée constitue une amélioration significative de la démarche utilisée antérieurement par le Transporteur. Elle lui permet d'établir de la façon la plus précise possible, compte tenu des données dont il dispose actuellement, les équipements en fin de vie utile présentant des risques sur lesquels il doit intervenir. Il peut aussi établir la quantité d'interventions qui doivent être réalisées et les ressources requises pour les réaliser afin de minimiser à moyen et long terme les conséquences sur la fiabilité du réseau et sur la continuité de service. Il peut ainsi assurer le maintien d'un niveau de risque qu'il est en mesure de gérer.

Les résultats de cette stratégie optimisée sont à la base et justifient le montant demandé par le Transporteur pour assurer la pérennité de ses actifs dans le cadre de la demande d'autorisation à la Régie de l'énergie des investissements en Maintien des actifs du transporteur pour l'année 2008.

La stratégie optimisée permet au Transporteur de déterminer les investissements qu'il doit effectuer à court terme, avec une vision à long terme. Le Transporteur entend en effet poursuivre le développement de cette stratégie afin d'y intégrer des paramètres qui s'avèrent également importants pour lesquels il ne possède pas encore toutes les données nécessaires.