

**RAPPORT D'ÉVALUATION DU CENTRE INTERUNIVERSITAIRE
DE RECHERCHE EN ANALYSE DES ORGANISATIONS
(CIRANO)**

ÉVALUATION DES MÉTHODES D'ANALYSE DES RISQUES ASSOCIÉS À LA PÉRENNITÉ DES INFRASTRUCTURES

Fait par :

**Aubert, Benoit, PDG et Fellow CIRANO,
professeur, HEC Montréal**

**Campbell, Bryan, V.-P. Finance et Fellow CIRANO,
professeur, Université Concordia**

Abdourabbih, Abdouss , Chef de projet, CIRANO

**CIRANO
2020 University, 25^{ie} étage
Montréal**

Pour : Hydro-Québec TransÉnergie, complexe Desjardins, Montréal

SOMMAIRE

Hydro-Québec TransÉnergie s'est dotée d'une méthode d'évaluation des risques qui peuvent affecter les équipements que la firme utilise. La grille de risque utilisée par Hydro-Québec TransÉnergie correspond à un modèle utilisé couramment dans l'industrie. Elle permet de mettre en relation la probabilité et la gravité de différents énervements indésirables (dans ce cas, des défaillances d'équipement).

L'adoption de la grille de risque constitue un premier pas dans l'instauration d'une politique de gestion des risques. La grille de risque constitue l'outil incontournable qui 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 de l'outil de simulation.

Lorsque l'on analyse la méthode d'estimation du risque, on constate que cette méthode correspond à un niveau de sophistication moyen. C'est une situation enviable. Les niveaux de sophistication élevés sont généralement réservés à la mesure des risques purement financiers. La majorité des grandes organisations se limitent encore au développement de mesures de niveau 1 ou 2 pour les risques opérationnels.

La méthode utilisée permet de mettre l'accent sur les événements à probabilité élevée et sur ceux qui entraîneraient les conséquences les plus graves.

Les outils utilisés semblent sous-estimer le risque réel. Il appert que la méthode de détermination du risque sous-estime systématiquement les probabilités de défaillance ainsi que la variance de ces défaillances. De plus, l'échelle utilisée pour mesurer les impacts pourrait sous-estimer les impacts associés à des événements catastrophiques.

HQTE utilise une simulation pour évaluer l'importance des investissements requis dans le temps, en fonction de différents scénarios. Ces scénarios permettent la mise en place d'une stratégie de remplacement des équipements permettant de lisser les coûts d'investissement futurs tout en maintenant un niveau de risque raisonnable. Ces scénarios donnent une idée réaliste de l'ordre de grandeur des investissements requis.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	II
TABLE DES MATIÈRES	III
CONTEXTE	1
RAPPEL DU MANDAT	1
PARTIE 1 GRILLE DE RISQUE	2
ÉVALUATION DE LA MÉTHODE D'ESTIMATION DES PROBABILITÉS	4
COMPARAISON AVEC LES DIFFÉRENTES FAMILLES DE MÉTHODES D'ÉVALUATION	4
AVANTAGES	5
INCONVÉNIENTS	6
BIAIS POSSIBLES	6
ÉVALUATION DE LA MÉTHODE D'ESTIMATION DES CONSÉQUENCES	7
AVANTAGES	7
INCONVÉNIENTS	7
BIAIS POSSIBLES	8
ÉVALUATION DES INDICATEURS GLOBAUX DE RISQUE ET DES TABLEAUX DE RISQUE	8
AVANTAGES	8
INCONVÉNIENTS	9
BIAIS POSSIBLE	9
PARTIE 2 ÉVALUATION DE LA MÉTHODE DE SIMULATION UTILISÉE	11
SCÉNARIOS	11
ATTENTE DE DÉFAILLANCE	11
RISQUE MINIMUM	12
AVANTAGES	13
INCONVÉNIENTS	14
CONCLUSION	15

CONTEXTE

Hydro-Québec TransÉnergie s'est dotée d'une méthode d'évaluation des risques pouvant affecter ses infrastructures. Cette méthode est essentielle pour prévoir les investissements requis à long terme. En effet, les infrastructures sont considérables et il est essentiel de disposer de l'information requise pour prioriser les investissements en pérennité.

En parallèle, une évaluation du « risque tolérable » doit être faite. Les infrastructures ne seront jamais complètement à l'abri des risques. Il existe un seuil sous lequel la réduction additionnelle du risque est trop coûteuse et non souhaitable. Les indicateurs appropriés de risque doivent être développés pour identifier adéquatement ce seuil.

Finalement, toutes ces activités doivent s'inscrire dans une stratégie à long terme. Les investissements sont faits sur de très longues périodes. La durée de vie de l'équipement est longue (souvent près de 40 ans). En même temps, plusieurs investissements ont été faits par vagues, ce qui générera un programme de remplacement qui ne sera pas nécessairement constant.

RAPPEL DU MANDAT

Un ensemble d'outils a été développé par Hydro-Québec TransÉnergie pour évaluer la gravité des impacts potentiels associés à des défaillances, qualifier la vraisemblance de ces défaillances et simuler dans le temps quelle est la courbe attendue de survie des équipements. Le mandat proposé vise à établir l'efficacité de ces outils d'évaluation des risques et de proposer, le cas échéant, les pistes d'amélioration.

PARTIE 1 GRILLE DE RISQUE

La grille de risque vise à déterminer quels équipements sont les plus préoccupants pour Hydro-Québec TransÉnergie. Intuitivement, ce sont les équipements qui présentent une probabilité de défaillance plus élevée et dont la défaillance entraînerait des problèmes plus graves pour les utilisateurs du réseau. En simplifiant, on peut représenter la classification des équipements de la manière suivante :

	Probabilité d'une défaillance faible	Probabilité d'une défaillance élevée
Impact d'une défaillance élevée	Risque moyen	Risque élevé
Impact d'une défaillance faible	Risque faible	Risque moyen

FIGURE 1 : CARTOGRAPHIE DES RISQUES

Selon cette approche, le risque peut être défini comme suit :

Risque_i = Impact d'une défaillance_i x Probabilité de défaillance_i ,
où i indique un équipement i du parc

Dès qu'un équipement est jugé préoccupant, Hydro-Québec TransÉnergie intègre les données relatives à la probabilité et à l'impact d'une défaillance complète de l'équipement donné à une grille d'analyse du risque.

La grille d'analyse du risque est associée à la notion d'équipements à risque, soit les équipements jugés préoccupants. La grille produite prend cette forme :

Nombre d'équipements identifiés par niveau de risque

Hors critères	Impact	Probabilité									Risque Nb	Risque %	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
325	9	33	102	3	115	54	5	83	6	7	Élevé 420	Élevé 1.7%	180
3,253	8	281	430	94	318	138	113	24	42	102			733
12,288	7	1,130	1,516	443	495	398	383	101	104	180	Fort 1,682	Fort 6.6%	17,038
25,397	6	1,388	3,068	384	387	497	442	97	148	177			31,985
31,670	5	868	1,380	569	411	255	344	256	125	213	Moyen 6,368	Moyen 25.1%	36,081
21,942	4	397	524	365	264	221	169	189	86	407			24,564
19,900	3	379	545	560	402	236	210	91	180	567	Faible 16,869	Faible 66.6%	23,070
8,645	2	125	320	246	144	41	192	40	52	283			10,088
4,422	1	55	29	30	37	20	97	12	28	97	Éq. risque à RISQUES	16%	4,827
129,248	Total	4,666	7,991	2,711	2,583	1,869	1,968	897	779	2,049			25,339

FIGURE 2 : EXEMPLE DE GRILLE DE RISQUE (ÉQUIPEMENTS, POSTES) SOURCE : HQTE

Dans cette grille, l'abscisse est graduée de 1 à 9, elle indique la cote de vraisemblance (ou 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. HQTE a adopté des critères tels que : l'âge de l'équipement, l'état, la performance, le taux d'utilisation, le taux de pannes, la maintenance et l'obsolescence. Il en découle un calcul d'une cote de probabilité de défaillance pour diverses familles d'équipements.

L'ordonnée est graduée de 1 à 9, elle indique la cote d'impact de la défaillance d'un équipement. Le chiffre 9 correspond à la cote la plus élevée. L'impact est déterminé par l'établissement de cinq cotes d'impact pondérées à partir de critères permettant d'évaluer les impacts potentiels de la défaillance d'un équipement sur le réseau et sur la clientèle, la plus forte pondération [40 %] est accordée à l'impact de la défaillance d'un poste sur le réseau. Le deuxième critère possède une pondération de [20 %], il permet de classer les équipements en fonction des conséquences d'une défaillance sur le fonctionnement général du poste. Le troisième critère est pondéré à [20 %], il mesure le degré de gravité des conséquences potentielles d'une défaillance de l'équipement sur la santé et sur la sécurité des employés et du public. Le quatrième critère possède une pondération de [10 %], il mesure le degré de gravité des conséquences potentielles d'une défaillance de l'équipement sur l'environnement. Enfin, une pondération de [10 %] est associée à la mesure des coûts additionnels aux coûts de remplacement dus aux dégâts collatéraux. L'évaluation de chaque composante de la cote d'impact est faite par des experts sur une base subjective.

Il est important de souligner que chaque équipement est placé dans la grille selon sa cote d'impact, cette dernière est maintenue constante tout au long de la durée de vie de l'équipement.

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

$$\text{Équipements à risque [\%]} = \frac{\text{nombre d'équipements à risque}}{\text{nombre total d'équipements}}$$

Le risque relatif aux équipements à risque élevé est exprimé comme :

$$\text{Équipements à risque élevé [\%]} = \frac{\text{nombre d'équipements à risque élevé}}{\text{nombre total d'équipements à risque}}$$

L'adoption de la grille de risque constitue un premier pas dans l'instauration d'une politique de gestion des risques. La grille de risque constitue l'outil incontournable qui 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 de l'outil de simulation.

ÉVALUATION DE LA MÉTHODE D'ESTIMATION DES PROBABILITÉS

COMPARAISON AVEC LES DIFFÉRENTES FAMILLES DE MÉTHODES D'ÉVALUATION

Lorsque l'on analyse la méthode d'estimation de la vraisemblance d'une défaillance, on constate que cette méthode correspond à un niveau de sophistication moyen. Selon la classification présentée dans le tableau 1, la méthode d'estimation serait de niveau 3.

En effet, la méthode est supérieure aux méthodes des niveaux 0 à 2. Les événements indésirables ont été identifiés. Cette liste correspond à la liste des défaillances possibles (donc tous les équipements). Les événements ont ensuite été classifiés en termes d'impact. Il faut toutefois noter que la classification s'est attardée uniquement aux équipements dont l'âge représentait 85 % ou plus de la durée de vie utile de ce type d'équipement. D'une certaine manière, c'est comme si la colonne de gauche de la figure 1 était ignorée dans l'analyse.

Si on voulait atteindre le niveau 4 de sophistication, il faudrait représenter l'ensemble des équipements sur la grille, soit tous les équipements qui font partie présentement de la grille de risque et tous ceux qui n'ont pas encore atteint 85 % de leur vie utile.

Tableau 1 : Les sept niveaux de sophistication d'une mesure de risque¹

Les sept niveaux	Démarches	Outils/Exemples
Niveau 0 : Identification des événements	Mettre en liste les événements potentiels : que peut-il survenir?	« Brain storming » « Checklist »
Niveau 1 : Identification du pire événement	Classer la liste des événements potentiels afin d'isoler le pire en termes d'impact.	Tri Comparaison Modèles de dispersion Biomarqueurs
Niveau 2 : Identification du quasi-pire événement	Tracer la frontière d'acceptabilité (<i>cut-off point</i>) entre les événements admissibles et ceux qui ne le sont pas en termes d'impact (du point de vue du décideur).	Jugement du décideur Considération politique

¹ Tiré de : Aubert, B. A., J.G. Bernard (éditeurs), Mesure intégrée du risque dans les organisations, Presses de l'Université de Montréal, 2004, page 350.

Les sept niveaux	Démarches	Outils/Exemples
Niveau 3 : Estimation de l'événement le plus vraisemblable	Choisir l'événement le plus vraisemblable (moyen ou médian), identifier son impact potentiel et qualifier les paramètres du mécanisme qui lie les facteurs de risque à l'événement (probabilités subjectives).	Arbres de vraisemblance Analyses préliminaires des risques Méthode HAZOP Méthode ET-Si
Niveau 4 : Estimation de l'ensemble des scénarios	Appliquer la démarche du niveau 3 à l'ensemble des événements identifiés au niveau 0.	Diagramme d'influence Carte d'exposition Matrice d'hierarchisation
Niveau 5 : Estimation des probabilités	Pour chaque événement, quantifier les paramètres des mécanismes qui lient les facteurs de risque à l'événement et les facteurs d'impact à l'impact (probabilités objectives) : courbe de risque unique.	Analyse probabiliste du risque Variance, semi-variance VaR Monte Carlo CVaR
Niveau 6 : Estimation de l'incertitude	Intégrer l'incertitude (manque de connaissances ou d'information) à l'analyse probabiliste. Inférence bayésienne pour intégrer les opinions subjectives d'experts : courbes de risque multiples.	Probabilités bayésiennes

AVANTAGES

L'évaluation de la cote de probabilité de défaillance constitue un élément clé dans la gestion de la pérennité introduite par Hydro-Québec. Cette approche est le résultat d'une analyse minutieuse de la performance des équipements dans le passé. Des améliorations sont possibles dans l'évaluation des taux de survie des équipements pour mieux refléter la réalité. Il est important de signaler qu'Hydro-Québec a procédé à des raffinements élégants quant à la prise en compte de ces problèmes.

Le principal avantage de cette méthode pour établir la cote de probabilité est qu'elle met l'accent sur les événements à probabilité élevée. En effet, en ne considérant que les pièces d'équipement qui ont atteint minimalement 85 % de leur vie utile, cette méthode place une loupe sur ces équipements spécifiques. On s'assure ainsi de mettre toute l'attention sur les équipements les plus à risque. Dans la mesure où la probabilité de défaillance des équipements qui n'ont pas atteint ce seuil de 85 % est quasi-nulle, cette méthode permet d'avoir, avec un effort raisonnable, un portrait détaillé des équipements réellement préoccupants.

INCONVÉNIENTS

Il est évident, considérant la règle du 85 % de vie utile, qu'un nombre important d'équipements ne figurent pas dans la matrice du risque. Ceci est dû au fait que ces derniers n'ont pas encore atteint les critères définis dans l'analyse de risque en pérennité. Ces équipements non représentés forment toutefois la majorité du parc d'équipements de HQTE.

Par ailleurs, selon l'information recueillie, la distribution de l'âge de ces équipements ne serait pas uniforme. En effet, de grandes vagues d'investissements ont été faites lors de la réalisation de grands projets (Manic, Baie James, etc.). Cela veut dire qu'une vague d'équipements auront atteint ce critère de 85 % de leur vie utile dans les dix prochaines années, car la moyenne des vies utiles (variant de 35 ans pour les équipements des postes et de 45 ans pour les lignes) correspond à la réalisation des réseaux Manic-Québec-Montréal. Cette problématique devient préoccupante dans l'évaluation des investissements futurs.

L'analyse du profil d'âge du parc indique qu'il y a une pointe forte d'équipements qui ont entre 19 et 28 ans d'usure. Cette pointe représente environ le tiers de l'inventaire.

Ces éléments, une fois combinés, représentent le principal inconvénient de la méthode actuelle. Cette méthode ne tient pas compte des fluctuations des investissements dans le temps. Elle fait l'hypothèse implicite que ces investissements sont constants (même si les gestionnaires d'Hydro-Québec TransÉnergie sont bien conscients que ce n'est pas le cas). La méthode donnerait exactement la même image dans une situation où on viendrait de terminer les travaux de la Baie James (et donc pour lesquels les équipements seraient flambant neufs) que dans la situation actuelle, où ces équipements sont déjà âgés de plus de 20 ans.

BIAIS POSSIBLES

Cette méthode de détermination des probabilités sous-estime systématiquement les probabilités de défaillance ainsi que la variance (erreur de mesure) de ces estimés pour deux raisons : l'absence des équipements n'ayant pas atteint 85 % de leur vie utile dans le mode de calcul et la distribution non uniforme des investissements.

Une mesure de probabilité vise à déterminer la vraisemblance des défaillances. Même si les équipements qui ont moins de 85 % de leur vie utile d'écoulée ont une très très faible probabilité de panne, cette probabilité n'est pas nulle. De plus, même si cette probabilité est extrêmement faible, elle est combinée avec un très grand nombre de pièces d'équipement. Il reste donc une part du risque qui est ignorée. Cette part de risque non prise en compte est amplifiée par la distribution des investissements dans le temps. Quand une vague majeure

d'investissements aura atteint 80 % de la vie utile, elle ne paraîtra toujours pas dans l'analyse de risque. Pourtant, les probabilités de défaillance commenceront à monter. La mesure actuelle sera donc vulnérable à des fluctuations importantes d'une période à l'autre.

Une mesure non biaisée tiendrait compte de cette distribution hétérogène et de l'ensemble des équipements.

ÉVALUATION DE LA MÉTHODE D'ESTIMATION DES CONSÉQUENCES

L'analyse des impacts semble *a priori* moins sophistiquée que l'analyse des probabilités. Les chiffres de 1 à 9 correspondent à une gradation mais ne sont pas liés à des éléments réels, comme une valeur monétaire ou un nombre de clients affectés. Si on réfère au tableau 1, l'analyse faite serait également au niveau 3.

AVANTAGES

Le principal avantage de la méthode est de fournir un ordonnancement des défaillances possibles en termes d'impact. Cette démarche permet d'identifier les équipements critiques et ainsi de concentrer les efforts sur les équipements dont les pannes entraîneraient des inconvénients dépassant la frontière d'acceptabilité.

De plus, la mesure touche plusieurs aspects de l'impact d'une panne. Les critères utilisés touchent :

- La qualité du service
- L'équipement proprement dit
- La sécurité
- L'environnement
- Le coût (notamment pour les dommages aux équipements voisins)

La méthode de classification tient donc compte de la multiplicité des objectifs du transporteur.

Cette évaluation sur une échelle de 1 à 9 correspond, de plus, à un mode couramment utilisé chez Hydro-Québec. Elle est donc facile à interpréter pour les nombreux intervenants possibles.

INCONVÉNIENTS

La mesure ne tient pas compte de la dispersion possible des impacts. En effet, une défaillance d'un équipement ayant un score donné ne donne pas nécessairement toujours lieu au même impact. En fait, une défaillance donne lieu à une plage d'impact (par exemple : entre x et y milliers d'abonnés privés de courant). Une mesure de risque pourrait tenir compte de cette dispersion.

Par ailleurs, comme tous les impacts sont regroupés en un score, on amalgame des impacts reliés à la qualité du service, à l'environnement, à la sécurité des employés, etc. Il serait intéressant d'avoir une mesure d'impact qui tienne compte de la variété des types d'impacts et de leur dispersion.

BIAIS POSSIBLES

L'ordonnement ne crée pas de biais systématique. Dans la mesure où l'évaluation est toujours faite de la même manière, les évaluations seront comparables d'une période à l'autre.

Toutefois, la limite de 9 pourrait sous-estimer les impacts associés à des événements catastrophiques.

ÉVALUATION DES INDICATEURS GLOBAUX DE RISQUE ET DES TABLEAUX DE RISQUE

La détermination des probabilités et des impacts potentiels vise à mesurer quel est le risque global pris par l'organisation en regard de ses équipements. Des indicateurs ont été développés par HQTE. Une mesure du niveau global de risque a été définie comme :

$$\text{taux de risque}_t = \frac{\sum_i \text{Impact}_i \cdot \text{Probabilité}_{it}}{\text{facteur d'échelle}} .$$

Le facteur d'échelle utilisé par Hydro-Québec actuellement est donné par le nombre d'équipements dans le parc. Le calcul du taux de risque donne un chiffre compris entre 0 et 81 [un équipement qui n'est pas à risque a une probabilité de défaillance nulle] cette mesure peut être facilement exprimée sur une échelle de 0 à 100. Notons également la présence d'un indice de temps employé pour souligner que cette mesure de risque représente une image du risque global à un instant donné de la vie du parc. Le taux de risque actuel est autour de 3.0 %

Une mesure alternative consiste à utiliser le nombre d'équipements « à risque » (donc ayant dépassé 85 % de leur vie utile) comme dénominateur. Ce score donne un taux de risque pour la portion des équipements les plus vulnérables.

AVANTAGES

Une mesure globale permet de suivre l'évolution du portefeuille d'équipements et de donner un score encapsulant l'ensemble des renseignements. Un tel score permet de voir si les actions faites par le

transporteur permettent de rencontrer les objectifs en termes de risque. Ce score permet également de suivre la performance sur des périodes multiples.

INCONVÉNIENTS

Pour être utile, le score pondéré doit être interprétable et relié directement à l'évolution du portefeuille.

Un des problèmes du score tel que présenté est son caractère en partie artificiel. En effet, il est associé à des valeurs arbitraires d'impact possible. Tant l'échelle d'impact que l'échelle de probabilité ne sont que des ordonnancements (on sait que 1 est plus petit que 2, qui est plus petit que 3, etc. Par contre, rien n'indique que 2 est deux fois plus important que 1, ou que 4 est deux fois plus important que 2). C'est le propre d'une échelle d'ordonnement. Ces échelles donnent un ordre sans quantifier.

Dès lors, le score calculé pose problème et l'interprétation du coefficient devient périlleuse. En effet, pour calculer le score, on utilise les échelles d'impact et de probabilité comme si elles étaient purement quantitatives. Dès lors, il est très difficile d'interpréter l'échelle de ce niveau de risque. Par exemple, est-ce qu'un changement de 3 à 3,5 est significatif ? Est-ce que le changement devrait être plus important (par exemple, doubler à 6) pour être significatif ? C'est impossible à déterminer.

BIAIS POSSIBLE

Le principal biais est fonction des investissements. En effet, la mesure de risque global utilise un diviseur qui représente tout l'inventaire alors que le numérateur ne représente que les équipements « à risque ».

On constate tout de suite le problème : imaginons un programme d'investissement massif, un nouveau projet majeur, touchant de nouvelles installations (pas un projet de remplacement). Ce nouveau projet entraînerait rapidement des investissements. Ces investissements (nouveaux équipements) se retrouveraient dans le dénominateur (puisqu'ils incluent tous les équipements) mais pas dans le numérateur (puisque ces équipements sont neufs).

Logiquement, si on ne remplace pas les vieux équipements, le risque devrait augmenter légèrement d'une année à l'autre et ce, indépendamment des investissements sur de nouveaux projets. En effet, la portion « à risque » vieillirait et serait plus vulnérable. Par contre, avec le mode de calcul actuel, le risque global pourrait diminuer dans une situation où un nouveau projet est en cours et où aucun travail n'est fait sur les équipements à risque.

Dès lors, il faut que la mesure du risque global soit associée à des montants en dollars (ou à d'autres données quantifiables).

PARTIE 2 ÉVALUATION DE LA MÉTHODE DE SIMULATION UTILISÉE

La procédure de simulation a pour objectifs l'évolution du parc actuel vers le futur en tenant compte des ressources disponibles, l'évaluation de son niveau de risque et l'évaluation des coûts afférents aux interventions (remplacements et/ou remises à neuf) et ce, sous différents scénarios. Fondamentalement, deux approches ont été suivies :

Boucle ouverte. La gestion de la pérennité est basée sur l'attente d'une défaillance totale de l'équipement. Il s'agit d'une approche réactive de gestion du risque. En effet, le simulateur se base uniquement sur les statistiques de défaillance des équipements afin de déclencher leur remplacement.

Boucle fermée. Le simulateur détermine le niveau d'intervention et/ou d'investissement optimal tout en cherchant à atteindre des objectifs technico-économiques et/ou stratégiques (directives DESTT, taux de risque, etc.). Cette approche de gestion du risque est plus proactive. Les interventions sont revisitées et des corrections sont apportées aux interventions jusqu'à ce que l'objectif soit atteint. Il est important de signaler que la stratégie de pérennité dépendra de la réactivité (agressivité) du simulateur à atteindre les objectifs visés.

SCÉNARIOS

Les deux scénarios de base correspondent aux deux politiques de remplacement extrêmes. La première représente celle du moindre coût, dans laquelle une pièce d'équipement n'est remplacée que lorsqu'elle fait défaut. La seconde cherche plutôt à minimiser les risques et implique un remplacement des pièces basé sur un principe de prudence. Il est alors possible de réduire les inconvénients associés aux pannes causées par des bris.

ATTENTE DE DÉFAILLANCE

Le scénario d'attente de la défaillance est la version de base d'une simulation en boucle ouverte. Le simulateur parcourt l'ensemble des équipements répertoriés et simule la défaillance ou l'absence de défaillance d'un équipement à partir de sa courbe en baignoire (qui elle, est construite à partir des historiques de remplacements).

Il est important de signaler que les remplacements utilisés dans la construction des courbes en baignoire peuvent être des remplacements préventifs (« euthanasies ») ou des remplacements par suite d'une défaillance. Ensuite, le simulateur chiffre l'ensemble des interventions afin de déterminer les coûts afférents à cette stratégie.

Il est important de noter qu'à ce stade le choix des interventions dans le simulateur n'utilise aucunement les concepts introduits dans la grille d'analyse du risque. Ceci constitue le handicap fondamental du scénario. Autrement dit, les interventions intempestives sur des équipements ayant une forte cote d'impact peuvent avoir des coûts collatéraux substantiels, des conséquences sur l'environnement, des impacts directs sur les indicateurs de continuité de service, etc.

Aussi, par construction, ce scénario exclut les interventions planifiées. Ceci a pour conséquence de faire abstraction de la vague d'équipements qui atteindront leur limite d'usage dans les prochaines années.

Il existe une extension du scénario d'attente de la défaillance. Cette version vise à corriger le biais de ce scénario. Par la saine gestion de HQTE, les équipements peuvent être remplacés (« euthanasiés ») ou remis à neuf dès l'identification de symptômes précurseurs de fin de vie prochaine. Les courbes en baignoire sont donc corrigées (allongées de 20 %) pour être plus conformes à la réalité technique des équipements.

Malgré ses coûts moindres, ce scénario hérite de tous les inconvénients du scénario de base. La vulnérabilité aux événements extrêmes (en termes d'impact) devient plus accentuée.

RISQUE MINIMUM

Le scénario visant le maintien du risque au minimum est une version de la simulation en boucle fermée. Le simulateur parcourt le parc d'équipements et se base sur les critères décrétés par la DESTT dans l'identification des équipements à risque pour évaluer les ressources nécessaires au maintien du risque minimum. Il utilise les mêmes courbes que le scénario d'attente de la défaillance. Par contre, le simulateur ajoute des interventions de remplacements ou de mises à neuf planifiées à partir d'une liste d'équipements non encore en défaillance mais préoccupants et ce, jusqu'à l'atteinte du niveau de risque souhaitable. Cette liste a été construite en se basant sur la grille de risque.

Ce scénario est conservateur. Il permet de réduire le niveau de risque (pourcentage des équipements à risque, taux de défaillance, âge des équipements) à moyen terme. Cependant, des investissements importants seraient nécessaires. Il est important de signaler que le taux de remplacement (consigne) est un élément clé dans la procédure de simulation. En effet, des taux de remplacement faibles conduisent à une situation où le simulateur doit prioriser fortement certains remplacements d'équipements.

D'autres raffinements ont été apportés aux simulations. Un scénario identifie le taux de renouvellement nécessaire au maintien du niveau de risque actuel. La procédure d'identification est délicate. Elle est basée sur la réalisation de

nombreuses simulations et sur l'analyse des corrélations entre les ressources allouées (investissement, nombre d'interventions annuelles, main-d'œuvre) et les risques encourus (pourcentage des équipements à risque, taux de défaillance, âge des équipements). Une stratégie de remplacements moins agressive impose la définition de priorités spécifiques quant aux remplacements.

De même, Hydro-Québec TransÉnergie a analysé 16 classes d'équipements homogènes. Les appareillages électriques et mécaniques ont été analysés séparément. À l'issue de cette analyse, des degrés d'aversion au risque ont été identifiés pour chaque famille. Cette classification est définie par la facilité à les remplacer (faibles coûts, interventions faciles et de faible durée, disponibilité des équipements de remplacement, etc.). Ceci a permis à Hydro-Québec TransÉnergie de définir un scénario additionnel amalgamant les acquis établis par l'analyse des scénarios précédents. Dans ce scénario, Hydro-Québec TransÉnergie peut minimiser l'investissement nécessaire en tolérant un niveau de risque supérieur sur les classes d'équipements qui s'y prêtent. Une autre version de ce scénario regroupe les interventions par projet. Ceci a pour effet de réduire considérablement les coûts au détriment d'un contrôle plus accru du risque.

AVANTAGES

Une stratégie de remplacements bien réfléchi permettra de lisser les coûts d'investissement futurs tout en maintenant un niveau de risque raisonnable.

La différence fondamentale entre les deux approches de simulation réside dans le fait que la boucle ouverte est basée sur une approche purement probabiliste alors que la boucle fermée est une approche à la fois déterministe et probabiliste. À ce titre, la boucle fermée reflète la capacité de gestion du transporteur.

Les scénarios en boucle fermée présentent des avantages. Lors des simulations en boucle fermée, la grille d'analyse du risque est utilisée pour sélectionner les équipements les plus à risque lors du choix des interventions. Cette procédure concerne les équipements dont le remplacement n'a pas été planifié. Aussi, la matrice du risque est évaluée à chaque pas de simulation. Il en découle la possibilité de prédire l'évolution des indicateurs de risque.

La Figure 3 présente plusieurs scénarios. Les résultats montrent que le niveau de risque minimal (scénario n° 3) engendre un investissement important rapidement. Cependant, l'ampleur des interventions à réaliser (la vague d'équipements vieillissants qui s'en vient) ne permet pas d'abaisser l'ampleur des investissements avant 2020. En considérant l'attente de la défaillance (scénario n° 1), l'investissement prévu est en croissance pour une longue période allant jusqu'en 2030.

Les autres scénarios présentés dans la figure sont des raffinements des deux scénarios précédents et présentent des situations intermédiaires. Ces scénarios permettent de mettre en place un plan d'investissement bien défini et ainsi d'anticiper adéquatement les coûts à venir.

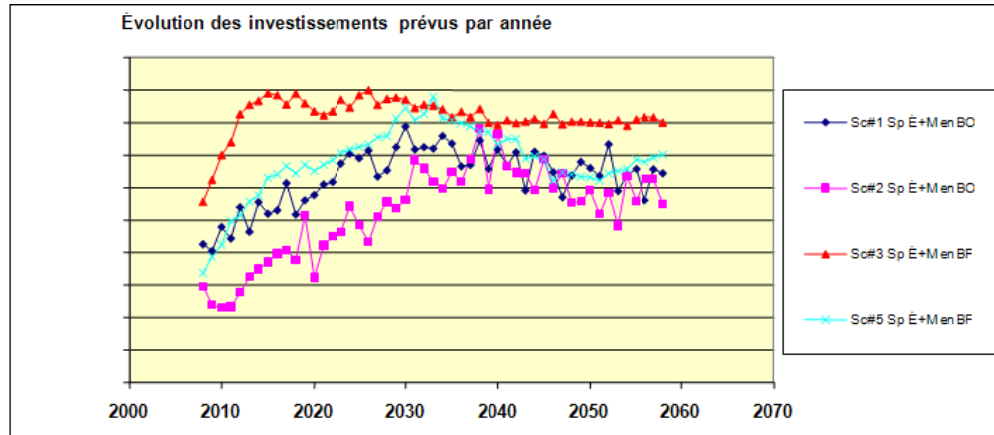


FIGURE 3: INVESTISSEMENT PRÉVU DES SCÉNARIOS (SOURCE HQTE)

INCONVÉNIENTS

Les différents scénarios, s'ils donnent une idée de l'ordre de grandeur associée aux différents choix de comportement, ne mesurent qu'imparfaitement le risque réel supporté. En effet, ils ne mesurent pas les impacts anticipés associés à des défaillances attendues. Intuitivement, on comprend bien qu'une stratégie passive, dans laquelle on attend une défaillance pour effectuer un remplacement, se traduira par un niveau de service plus faible. Pour réduire les coûts, on demande alors aux clients de supporter plus de risques.

Dans le contexte d'une boucle fermée, il est relativement difficile de résoudre en ciblant plus d'un seul critère (exemple : coût et taux de risque). Le simulateur tente de résoudre un problème de contrôle optimal par les techniques d'asservissement employées dans le domaine de l'automatique.

Dans la mesure où le taux de risque est difficile à interpréter, il devient très compliqué de juger si le coût plus élevé associé au scénario dans lequel on cherche à maintenir ce taux de risque est justifié ou non. En fait, comme plusieurs éléments associés au taux de risque semblaient suggérer que le risque réel est sous-estimé, il est possible de penser que le scénario le plus coûteux pourrait quand même être accompagné d'une dégradation du service. Une mesure plus fiable du taux de risque, tenant compte des investissements

sur l'ensemble de leur vie utile, est requise pour améliorer la fiabilité des différents scénarios.

CONCLUSION

Hydro-Québec TransÉnergie a développé une méthode d'évaluation des risques pouvant affecter ses infrastructures. Cette méthode permet de prévoir les investissements requis à long terme. L'objectif de cette étude était d'étudier l'efficacité de ces outils d'évaluation des risques

HQTE a fait un travail considérable pour relier ces mesures de risque à l'inventaire des équipements, aux caractéristiques de ceux-ci, de même qu'aux données historiques sur leur durabilité. À ce titre, elle a fait un travail que l'on observe rarement dans l'industrie et elle dispose maintenant de données de grande qualité pour gérer son parc d'équipements.

La grille de risque utilisée par Hydro-Québec TransÉnergie correspond à un modèle utilisé couramment dans l'industrie. Elle permet de mettre en relation la probabilité et la gravité de différents événements indésirables (dans ce cas, des défaillances d'équipement).

Dans cette grille, l'abscisse est graduée de 1 à 9, elle indique la cote de vraisemblance (ou probabilité) de la défaillance complète associée à la fin de vie d'un équipement. Ces évaluations dépendent de critères tels que : l'âge de l'équipement, l'état, la performance, le taux d'utilisation, le taux de pannes, la maintenance et l'obsolescence. L'ordonnée est également graduée de 1 à 9 et indique la cote d'impact de la défaillance d'un équipement. C'est une échelle ordinale.

Lorsque l'on analyse la méthode d'estimation du risque, on constate que cette méthode correspond à un niveau de sophistication moyen. Il faut remarquer que c'est toutefois une situation enviable. Les niveaux de sophistication élevés sont généralement réservés à la mesure des risques purement financiers. La majorité des organisations se limitent au développement de mesures de niveau 1 ou 2 pour les risques opérationnels.

Une analyse de la mesure suggère qu'elle pourrait sous-estimer le risque réel. La méthode utilisée par HQTE permet de mettre l'accent sur les événements à probabilité élevée. Par contre, en utilisant la règle du 85 % de vie utile, un nombre important d'équipements ne figurent pas dans la matrice du risque. Dès lors, cette méthode de détermination du risque sous-estime systématiquement les probabilités de défaillances ainsi que la variance (erreur de mesure) de ces estimés. De plus, la mesure ne tient pas compte de la

dispersion possible des impacts et pourrait sous-estimer les impacts associés à des événements catastrophiques.

HQTE cherche à développer un score de risque global. Une telle mesure permet de suivre l'évolution du portefeuille d'équipements sur des périodes multiples. Pour être utile, le score pondéré doit être interprétable et relié directement à l'évolution du portefeuille. Deux problèmes se posent avec le score utilisé actuellement. Premièrement, il utilise dans son calcul une échelle ordinale. On multiplie donc des rangs, comme si ces rangs correspondaient à des valeurs absolues. De plus, ce score est divisé par le nombre total des équipements. Ceci introduit un biais en fonction des montants investis dans les nouveaux projets (qui réduisent le coefficient de risque, alors que les équipements « à risque » n'ont pas changé).

HQTE utilise également une simulation pour évaluer l'importance des investissements requis dans le temps, en fonction de différents scénarios. Ces scénarios permettent la mise en place d'une stratégie de remplacement des équipements permettant de lisser les coûts d'investissement futurs tout en maintenant un niveau de risque raisonnable.

Les différents scénarios donnent une idée de l'ordre de grandeur des investissements associés aux différents choix de remplacement des équipements.