

# **RAPPORT FINAL**

Systeme de reduction de la tension

Juin 2021

## TABLE DES MATIÈRES

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | Résumé .....   | 6  |
| 2.     | Introduction .....   | 13 |
| 2.1    | Défis actuels .....  | 13 |
| 3.     | Participants au projet .....   | 15 |
| 4.     | Caractéristiques d'Énergie NB .....  | 17 |
| 3.     | Objectifs du projet du SRT .....   | 18 |
| 4.     | Évolution du projet .....  | 19 |
| 4.1.   | Écarts par rapport aux concepts initiaux du projet .....   | 19 |
| 4.2.   | Calendrier du projet .....   | 20 |
| 4.3.   | Défis du projet .....  | 20 |
| 5.     | Architecture du SRT .....  | 21 |
| 6.     | Résultats du SRT .....   | 23 |
| 6.1.   | Méthode de mesure et de vérification du SRT .....  | 23 |
| 6.2.   | Réduction de la tension du SRT – Comparaison saisonnière .....   | 26 |
| 6.3.   | Économies liées au SRT obtenues à l'aide d'un modèle de régression multivariable basé sur les mesures de tension ..... | 27 |
|        | Économies réalisées grâce au SRT pour les postes .....   | 27 |
|        | Économies pour les artères .....   | 27 |
| 6.4.   | Incidence de la COVID-19 et des mesures de santé publique connexes sur l'étude .....                                   | 28 |
| 6.5.   | Résultats des émissions de gaz à effet de serre .....  | 29 |
| 6.6.   | Réduction des besoins en puissance réactive grâce au SRT .....   | 30 |
| 6.7.   | Analyse de la réponse à la demande .....   | 31 |
| 6.7.1. | Contexte .....   | 31 |
| 6.7.2. | Résultats .....  | 32 |
| 6.8.   | Usure du changeur de prises .....  | 35 |
| 6.9.   | Résultats obtenus au moyen de l'outil Validator de DVI .....   | 36 |
| 6.10.  | Comparaison des transformateurs des postes adjacents .....   | 37 |
| 6.11.  | Comparaison des facteurs du SRT .....  | 40 |
| 7.     | Leçons retenues .....  | 42 |

|  |    |
|--|----|
| 7.1. Générales .....   | 42 |
| 7.2. Clients .....   | 43 |
| 7.3. Techniques.....   | 44 |
| 8. Prochaines étapes du SRT.....   | 45 |
| 8.1. Feuille de route du SRT .....   | 45 |
| 8.2. Comparaison des caractéristiques des postes du SRT .....  | 46 |
| 9. Conclusion.....   | 47 |
| Annexe A – Recrutement de clients pour le SRT .....  | 51 |
| Principes directeurs du recrutement des clients.....   | 51 |
| Défis liés au recrutement des clients.....   | 51 |
| Suivi des clients et volumes d’appels .....  | 52 |
| Problèmes liés aux clients .....   | 54 |
| Bien que la stratégie consistant à alterner les jours de marche et d’arrêt du SRT ait été essentielle à l’analyse des données et à la quantification de l’efficacité du programme, cette stratégie a donné lieu à des plaintes de la part des clients. La transition en alternance de 125 V à 118 V a eu des effets perturbateurs pour les clients possédant de l’équipement sensible. Le dysfonctionnement s’est produit lorsque l’équipement était régulièrement exposé aux limites supérieure et inférieure de la plage de tension acceptable, précisée par la norme CSA sur la tension à l’entrée de service. Le personnel d’Énergie NB a donc dû s’attaquer rapidement à ces problèmes.....   | 54 |
| Au fur et à mesure qu’Énergie NB planifie un déploiement plus vaste du SRT, nous élaborerons des stratégies de communication pour soutenir cette initiative. Il sera essentiel de veiller à ce que tous les clients et entrepreneurs en électricité concernés par le SRT soient informés et comprennent clairement la portée du projet. Une plus grande présence des compteurs de l’IMA offrira au personnel d’Énergie NB une visibilité accrue et aidera à faire en sorte que les tensions aux entrées de service demeurent dans les limites acceptables. La stratégie des jours de marche et d’arrêt du SRT ne sera pas nécessaire, ce qui rendra le programme beaucoup plus tolérable et transparent pour le client. Selon le type de clients desservis par le poste de distribution et les niveaux de charge à certaines périodes de l’année, le service d’ingénierie du réseau de distribution d’Énergie NB peut recommander une réduction moins agressive de la tension..... | 54 |
| Aperçu et méthodologie du projet pilote du SRT .....   | 56 |
| Accepter un résultat .....   | 67 |

## ANNEXES

Annexe A – Recrutement de clients

Annexe B – Renseignements supplémentaires sur le SRT lié à l’industrie

Annexe C – Renseignements supplémentaires sur l’analyse de régression linéaire multivariée

Annexe D – Données des essais quotidiens relatifs à la réponse à la demande

Annexe E – Renseignements supplémentaires sur EDGE Validator

Annexe F – Graphiques de comparaison du facteur du SRT selon la saison

## **TABLEAUX**

Tableau 1.1 : Résumé de l'état opérationnel du SRT

Tableau 1.2 : Réduction de la tension moyenne aux postes

Tableau 4.1 : Calendrier du projet

Tableau 4.2 : Résumé des défis du projet

Tableau 6.1 : Périodes des saisons annuelles pour l'étude du SRT

Tableau 6.2 : Tensions moyennes pour les jours de marche et d'arrêt du SRT

Tableau 6.3 : Économies d'énergie active à l'aide de la mesure de la tension comme variable indépendante

Tableau 6.4 : Économies d'énergie active par les artères à l'aide de la mesure de la tension comme variable indépendante

Tableau 6.5 : Économies d'énergie active grâce à un modèle de régression multivariable basé sur la tension et les mesures de santé publique

Tableau 6.6 : Calcul des réductions des émissions de GES à l'aide de la méthode de régression (modèle 1)

Tableau 6.7 : Résultats des essais relatifs à la RD (moyenne de trois jours d'essai)

Tableau 6.8 : Analyse de l'usure des CPC

Tableau 6.9 : Résultats du SRT obtenus au moyen du Edge Validator

Tableau 6.10 : Liste des postes adjacents

Tableau 6.11 : Facteurs du SRT de comparaison des postes adjacents

Tableau 6.12 : Comparaison des méthodes de calcul liées au SRT

Tableau 9.1 : Calcul des réductions des émissions de GES à l'aide de la méthode de régression (modèle 1)

## FIGURES

Figure 1.1 : Facteurs du SRT selon la saison

Figure 1.2 : Facteurs annuels moyens du SRT

Figure 5.1 : Carte des postes liés au SRT

Figure 5.2 : Aperçu de l'infrastructure du projet pilote du SRT

Figure 5.3 : Modèle de flux de données du SRT

Figure 6.1 : Profil de la charge quotidienne type en hiver à Bathurst-Ouest T002

Figure 6.2 : Réponse à la demande du poste à la variation de tension progressive

Figure 6.3 : Chute de la charge par rapport au temps de rétablissement de la charge

Figure 6.4 : Composition de la charge par rapport au temps de rétablissement de la charge

Figure 6.5 : Rapports des jours de marche et d'arrêt du poste de la rue Commercial et du poste adjacent

Figure 8.1 : Feuille de route et calendrier du SRT

Figure 9.1 : Écart de tension pour les jours de marche et d'arrêt du SRT

Figure 9.2 : Facteur du SRT annuel pour tous les postes

Figure A.1 : Résumé des appels reçus par le centre de service à la clientèle

Figures D.1 à D.10 : Données d'essai quotidiennes de la réponse à la demande

Figure E.1 : Méthodologie du EDGE Validator

Figure F.1 : Comparaison de la méthode de calcul du facteur du SRT pour l'hiver

Figure F.2 : Comparaison de la méthode de calcul du facteur du SRT pour le printemps

Figure F.3 : Comparaison de la méthode de calcul du facteur du SRT pour l'été

Figure F.4 : Comparaison de la méthode de calcul du facteur du SRT pour l'automne

# 1. Résumé

Énergie NB a mené un projet pilote de recherche et de démonstration sur le système de réduction de la tension (SRT) en partenariat avec le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), Ressources naturelles Canada (RNC) et Siemens Canada. Le projet a été lancé en 2018 dans le but d'étudier comment Énergie NB peut réduire la consommation énergétique de la collectivité et modifier la demande de pointe grâce à des stratégies de régulation dynamique de la tension. Les travaux préparatoires réalisés par l'équipe de projet de 2018 à 2020 ont consisté à équiper quatre postes de la technologie de régulation automatisée de la tension, à installer des compteurs intelligents dans 688 maisons et bâtiments commerciaux et à confirmer la méthode de mesure et de vérification (M et V).

L'expérience relative au SRT a commencé à la fin du mois de novembre 2019 et s'est terminée le 30 novembre 2020. En prévision de l'expérience sur le terrain du SRT, les quatre postes suivants de la province ont été dotés de commandes de changeurs de prises en charge (CPC) Beckwith (M-2001D) dont les niveaux de tension du jeu de barres omnibus du poste sont déterminés par le logiciel EDGE® de Dominion Voltage International (DVI) :

1. Poste de la rue Priestman à Fredericton (6124) : Quatre artères
2. Poste du chemin Elliot à Quispamsis (6233) : Deux artères
3. Poste de Bathurst-Ouest à Bathurst (6418) : Deux artères
4. Poste de la rue Commercial à Moncton (6503) : Deux artères

Au total, 5506 bâtiments résidentiels et 527 bâtiments commerciaux des quatre postes susmentionnés et de leurs dix artères ont fait l'objet de l'étude. Afin de surveiller les tensions et de recueillir les données sur la consommation d'énergie aux branchements de service pour cette étude, Énergie NB a installé des compteurs intelligents dans 10 % des bâtiments résidentiels (559 sur 5506) et 25 % des bâtiments commerciaux (129 sur 527). Les mécanismes de surveillance et de rétroaction par le biais du système d'acquisition et de contrôle des données (SCADA) de l'exploitant du réseau et les compteurs intelligents ont assuré la visibilité des niveaux de tension dans tous les circuits d'alimentation et ont permis de maintenir la tension à des niveaux minimums pour l'ensemble des clients. Cela a ainsi renforcé la confiance quant au maintien des niveaux de tension, et par conséquent, a permis une plus grande réduction de la tension.

L'expérience relative au SRT a été mise en place de façon à ce que les postes de l'étude fonctionnent à une tension normale et à une tension réduite du SRT, un jour sur deux, et que la transition se fasse à 4 h pendant toute la période d'évaluation. Ce plan expérimental n'a pas nécessité de groupe témoin distinct, tel que des postes et des artères appariés, car, étant donné la possibilité de mettre le SRT en marche et de l'arrêter un jour sur deux, le groupe d'applications étudié a servi de groupe témoin pour les jours où le SRT était arrêté et de groupe expérimental pour les jours où le SRT était en marche. Les économies d'énergie réalisées grâce à l'évaluation relative à la mise en marche et à

l'arrêt du SRT ont été calculées en utilisant les techniques statistiques de la moyenne et de régression multivariable pour normaliser la température extérieure. Les économies d'énergie réalisées grâce au SRT dépendent de la saison et, par conséquent, les estimations des économies ont été faites de façon distincte pour chacune des saisons : hiver, printemps, été et automne.

Le tableau suivant indique le nombre de jours de l'expérience d'un an pendant lesquels la commande du SRT a été mise en marche ou arrêtée. Le poste de Moncton n'était pas disponible pendant la saison automnale pour l'expérience relative au SRT en raison d'activités d'entretien planifiées et le nombre de jours pendant lesquels le SRT a été mis en marche durant l'été a été restreint au poste de Fredericton en raison d'un problème lié à un client.

| Poste               | État du SRT   | Nombre de jours |           |     |         |       |
|---------------------|---------------|-----------------|-----------|-----|---------|-------|
|                     |               | Hiver           | Printemps | Été | Automne | Total |
| Quispamsis<br>6233  | SRT arrêté    | 30              | 26        | 31  | 30      | 117   |
|                     | SRT en marche | 25              | 25        | 28  | 31      | 109   |
| Moncton<br>6503     | SRT arrêté    | 25              | 25        | 38  | -       | 88    |
|                     | SRT en marche | 22              | 24        | 21  | -       | 67    |
| Bathurst<br>6418    | SRT arrêté    | 30              | 25        | 31  | 30      | 116   |
|                     | SRT en marche | 25              | 24        | 26  | 30      | 105   |
| Fredericton<br>6124 | SRT arrêté    | 30              | 25        | 37  | 30      | 122   |
|                     | SRT en marche | 23              | 22        | 16  | 24      | 85    |

Tableau 1.1 : Résumé de l'état opérationnel du SRT

Les commandes de CPC ont régulé les tensions du jeu de barres omnibus du poste à 125V (sur une base de 7200-120V) pendant les jours où le SRT était arrêté et entre 118 et 120V les jours où le SRT était en marche. Énergie NB respecte la norme CAN3-C235-83 de l'Association canadienne de normalisation (CSA), qui précise que la plage de tension de fonctionnement normale à l'entrée de service doit se situer entre 110 et 125 V. Les commandes du SRT exploitent cet écart de tension en réduisant les tensions de service vers l'extrémité inférieure sans nuire au rendement des appareils de l'utilisateur final.

L'une des préoccupations de l'étude pilote était de savoir quelle serait l'incidence des hivers froids du Nouveau-Brunswick et de la prédominance du chauffage électrique sur les économies réalisées grâce au SRT. Avant cette étude, Kinetrics inc. avait estimé une réduction annuelle moyenne de la tension de 2,5 % pour la province. L'expérience relative au SRT d'une durée d'un an a démontré une

réduction moyenne de la tension de 5 % pour tous les postes, ainsi qu'une réduction correspondante de la consommation annuelle d'énergie active (kWh) de 3,4 %. La réduction de tension maximale de 5,6 % a été observée au poste de Quispamsis pendant l'été et la réduction minimale de 3,4 % au même poste pendant l'hiver. La réduction de la tension moyenne pour chaque poste et pour chaque saison est présentée dans le tableau suivant :

| Poste                    | Tension                      | Hiver 2020 | Printemps 2020 | Été 2020 | Automne 2020       |
|--------------------------|------------------------------|------------|----------------|----------|--------------------|
| 6233T001,<br>Quispamsis  | Tension moy. (SRT arrêté)    | 125,65     | 125,77         | 125,70   | 125,48             |
|                          | Tension moy. (SRT en marche) | 121,39     | 119,77         | 118,63   | 119,01             |
|                          | $\Delta V$ [V]               | 4,25       | 6,00           | 7,06     | 6,47               |
|                          | $\Delta V$ [%]               | 3,4        | 4,8            | 5,6      | 5,15               |
| 6503T001,<br>Moncton     | Tension moy. (SRT arrêté)    | 125,18     | 125,31         | 125,27   | Entretien planifié |
|                          | Tension moy. (SRT en marche) | 118,76     | 118,63         | 118,47   | Entretien planifié |
|                          | $\Delta V$ [V]               | 6,42       | 6,68           | 6,80     | Entretien planifié |
|                          | $\Delta V$ [%]               | 5,1        | 5,3            | 5,4      | Entretien planifié |
| 6418T002,<br>Bathurst    | Tension moy. (SRT arrêté)    | 125,35     | 125,53         | 125,48   | 125,36             |
|                          | Tension moy. (SRT en marche) | 119,23     | 118,97         | 118,94   | 118,45             |
|                          | $\Delta V$ [V]               | 6,12       | 6,56           | 6,54     | 6,91               |
|                          | $\Delta V$ [%]               | 4,88       | 5,22           | 5,21     | 5,52               |
| 6124T002,<br>Fredericton | Tension moy. (SRT arrêté)    | 124,58     | 124,47         | 124,57   | 124,60             |
|                          | Tension moy. (SRT en marche) | 119,16     | 118,66         | 118,99   | 118,75             |
|                          | $\Delta V$ [V]               | 5,42       | 5,81           | 5,58     | 5,85               |
|                          | $\Delta V$ [%]               | 4,4        | 4,7            | 4,48     | 4,70               |

Tableau 1.2 : Réduction de la tension moyenne aux postes

Étant donné que les économies d'énergie résultant du SRT ne peuvent pas être mesurées de façon directe et que les pourcentages d'économies sont relativement faibles (de 1 à 3 % dans la plupart des circuits), il faut recourir à des méthodes statistiques rigoureuses pour obtenir des estimations précises. Les économies d'énergie sont estimées à l'échelle du poste et des artères et dépendent d'une variété de facteurs, notamment la composition de la charge des catégories de clients (p. ex., la composition de la charge résidentielle, commerciale et de la petite industrie, etc.), le pourcentage de charge, le jour de la semaine, la température extérieure et d'autres facteurs pseudoaléatoires liés aux activités des clients. Les économies d'énergie ont été évaluées à partir des données de mesure en appliquant les méthodes statistiques de la moyenne et de régression linéaire multivariable pour normaliser les températures extérieures. La méthode de régression a été appliquée selon trois variantes : (i) La modélisation de la dépendance de la consommation d'énergie par rapport à l'état

quotidien du SRT; (ii) la tension du jeu de barres omnibus; (iii) la tension du jeu de barres omnibus et les phases de santé publique liées à la COVID. Les phases de santé publique liées à la COVID-19 ont été ajoutées comme autres variables explicatives de l'énergie pour l'analyse du printemps, de l'été et de l'automne afin de filtrer les effets de la baisse et de la fluctuation de l'activité économique sur la consommation d'énergie, alors que certaines régions de la province passaient en alternance de la phase jaune à la phase orange. On peut se demander laquelle des méthodes appliquées est la plus précise? Les deuxième et troisième variantes des méthodes de régression multivariante modélisent l'incidence de plusieurs variables sur la consommation d'énergie et normalisent celle-ci par rapport aux températures extérieures. Les économies réalisées grâce au SRT devraient se situer quelque part entre les estimations obtenues à partir du deuxième et du troisième modèle de régression multivariante.

Un indicateur clé de l'évaluation des économies d'énergie est le facteur énergétique du SRT qui est exprimé en pourcentage d'économies d'énergie résultant d'une réduction de tension de 1 %. Le tableau suivant présente une comparaison des facteurs du SRT estimés pour l'énergie active par le biais de graphiques à barres pour chacun des quatre postes au cours de l'hiver, du printemps, de l'été et de l'automne évalués à l'aide des modèles suivants :

1. Méthode de la moyenne
2. Méthode de régression multivariante qui traite la consommation d'énergie en fonction de la tension du jeu de barres omnibus et de la température extérieure {méthode de régression (modèle 1)}.
3. Méthode de régression multivariante qui traite la consommation d'énergie comme étant dépendante de la tension du jeu de barres omnibus, de la température extérieure et des phases de santé du Nouveau-Brunswick {méthode de régression (modèle 2)}.

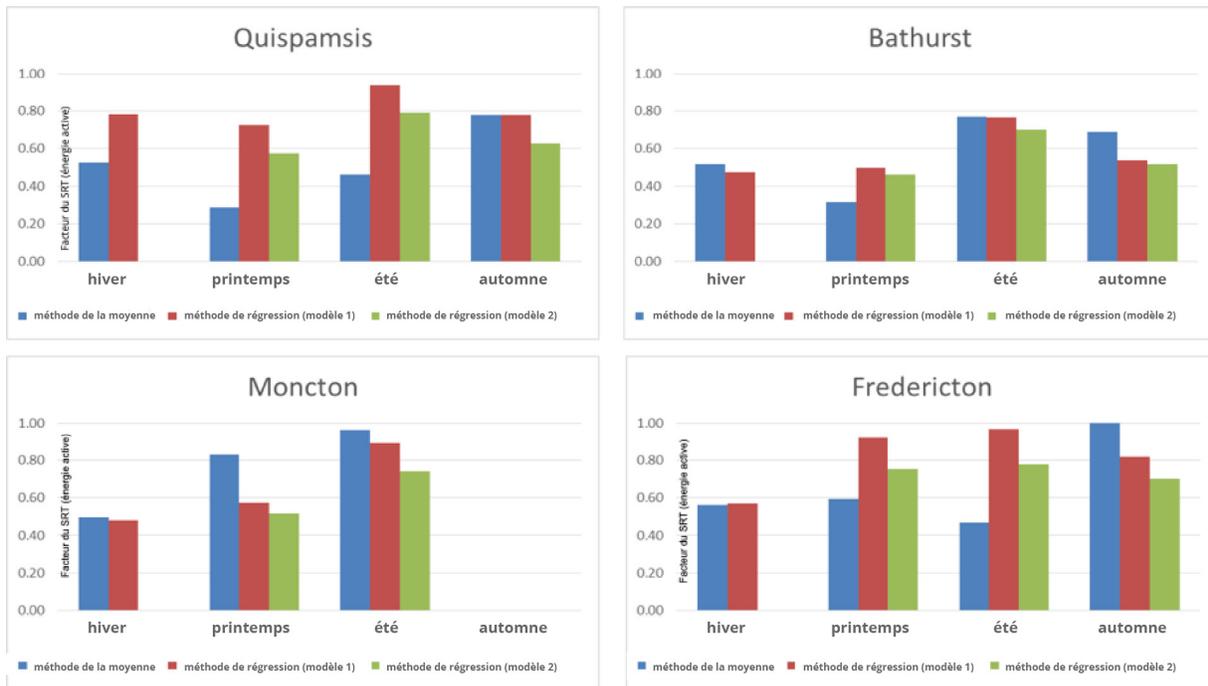


Figure 1.1 : Facteurs du SRT selon la saison

Toutes les méthodes de régression linéaire multivariable ont donné des estimations semblables des économies. Étant donné que le Nouveau-Brunswick est une province de pointe de consommation hivernale, où une grande partie des charges résidentielles et commerciales sont régulées par thermostat en raison du chauffage de l'eau et des locaux, le facteur du SRT observé, qui varie entre 0,50 (Moncton, Bathurst et Fredericton) et 0,80 (Quispamsis) pour l'hiver, est considéré comme très raisonnable. Les charges régulées par thermostat réagissent à l'abaissement de la tension en réduisant la demande immédiate, mais utilisent en fin de compte la même quantité d'énergie pour atteindre un réglage cible. Comme prévu, le facteur du SRT a légèrement augmenté au printemps lorsque les charges régulées par thermostat ont diminué. Le facteur du SRT a considérablement augmenté pendant la saison estivale, alors que les charges de chauffage des locaux sont inexistantes. Le facteur du SRT pour l'été se situait entre 0,7 et 0,8 selon la méthode de régression (modèle 2) qui tenait également compte des phases de santé publique. Les facteurs du SRT pour le printemps et l'automne étaient assez semblables.

Les facteurs annuels du SRT pour tous les postes estimés à l'aide des trois méthodes sont présentés dans le graphique suivant.

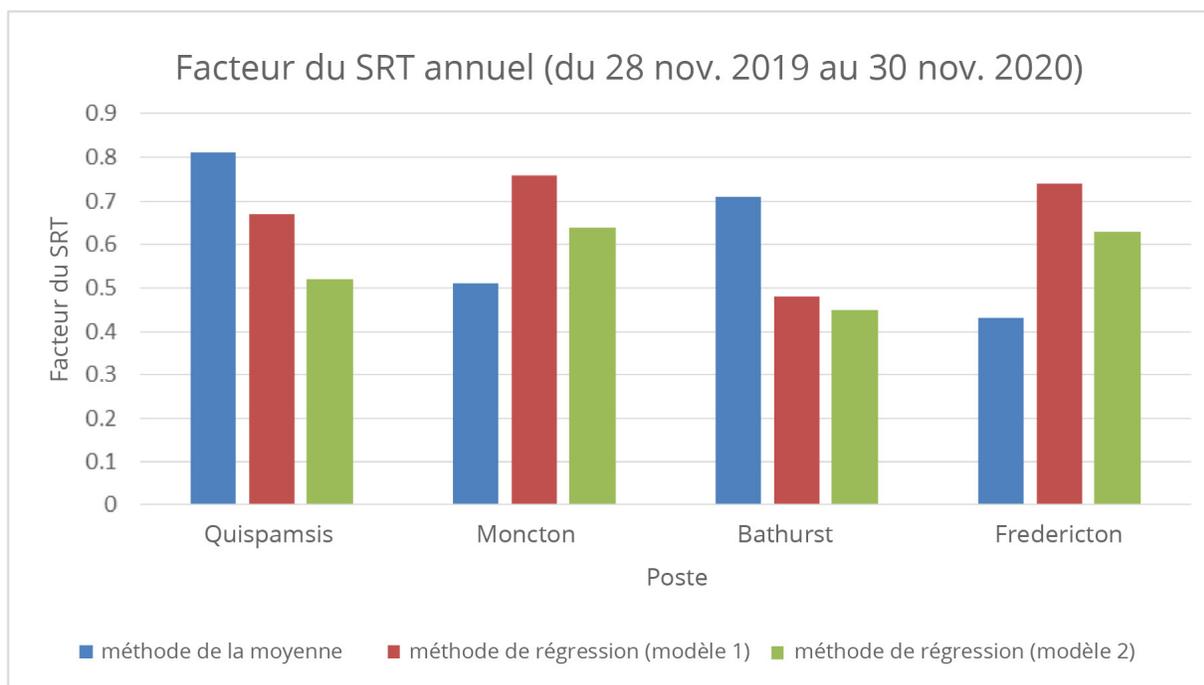


Figure 1.2 : Facteurs annuels moyens du SRT

L'expérience relative au SRT a permis de réaliser des économies d'énergie de 1,67 GWh (3,4 %) sur les dix artères au cours de la période d'un an grâce à une réduction moyenne de 5 % de la tension et de réduire de 459 tonnes les émissions de gaz à effet de serre (GES), selon la méthode de régression (modèle 1). En revanche, la méthode de régression (modèle 2), qui inclut également les phases de santé de la province comme variables explicatives de la consommation d'énergie, donne une estimation plus prudente avec 1,4 GWh d'économies d'énergie et 386 tonnes de réduction de GES.

On estime que le facteur moyen du SRT pour l'étude pilote se situe entre 0,6 et 0,7.

Comment ces économies d'énergie du SRT réalisées par Énergie NB se comparent-elles aux économies réalisées par d'autres entreprises de services publics au Canada et aux États-Unis?

L'évaluation du SRT à l'échelle nationale aux États-Unis, réalisée en 2010 par le Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) dans le cadre d'un contrat avec le département de l'Énergie (DoE), a indiqué que le SRT pourrait réduire la charge de pointe et la consommation d'énergie annuelle d'environ 0,5 % à 4 % par artère. Il a été estimé qu'une réduction totale de 3,04 % de la consommation annuelle d'énergie à l'échelle nationale était possible si le SRT était déployé sur toutes les artères de distribution.

Le National Energy Technology Laboratory (NETL) des États-Unis a compilé les données provenant de 30 services publics qui ont fourni des mesures de rendement du SRT. Leurs résultats, publiés en 2015, ont estimé les économies d'énergie moyennes à 1,9 % et la réduction moyenne de la charge de pointe à 2,5 %.

Étant donné que la majorité des bâtiments au Nouveau-Brunswick utilisent l'électricité pour le chauffage de l'eau et des locaux, une comparaison équitable des économies réalisées en hiver nécessite une comparaison avec des régions géographiques qui connaissent des températures hivernales semblables et utilisent l'électricité comme principale source de chauffage pendant cette saison. Le Québec présente des caractéristiques de chauffage hivernal très semblables à celles du Nouveau-Brunswick. Hydro-Québec a rapporté des économies d'énergie moyennes de 0,4 % par réduction de 1 % de la tension (facteur du SRT de 0,4) dans le cadre d'une étude sur la régulation de la tension et de la puissance réactive en 2005. BC Hydro a estimé un facteur du SRT de 0,7 en comparant directement le profil de demande du poste expérimental au poste de référence à l'aide de la télémétrie SCADA. Étant donné que la Colombie-Britannique a des hivers plus doux, on s'attend à un facteur du SRT plus élevé que celui du Québec.

Depuis quatre décennies, les services d'électricité et les organismes de réglementation se penchent sur le SRT dans différentes régions géographiques par le biais de nombreuses d'études pilotes visant à mettre à l'essai la technologie du SRT et à évaluer les économies réalisées. Les premières mises en œuvre du SRT ont permis de réduire la tension dans celui-ci grâce à des méthodes conventionnelles, notamment le changeur de prises en charge (CPC) et la télémétrie SCADA. Le manque de visibilité des tensions à la périphérie des circuits de distribution, les actifs de distribution à commande manuelle et les questions de réglementation ont empêché d'exploiter pleinement les avantages et de déployer le SRT à grande échelle. Avec l'émergence de l'infrastructure de mesure avancée (IMA), des technologies de réseau électrique intelligent et des changements apportés aux structures réglementaires dans certaines régions géographiques, le SRT est désormais évolutif et concurrentiel sur le plan des coûts par rapport à d'autres sources d'efficacité énergétique ou de production. Dans ce contexte, les économies estimées à 0,7 % pour une réduction de 1 % de la tension à partir de cette étude de démonstration d'un an menée par Énergie NB sur dix artères représentatives dans quatre villes sont très prometteuses et constituent une méthode rentable permettant de réaliser des économies d'énergie.

## 2. Introduction

### 2.1 Défis actuels

L'avenir énergétique est en pleine transformation et Énergie NB, tout comme les autres services d'électricité dans le monde, doivent s'adapter. Les attentes des clients, les changements climatiques et les nouvelles technologies modifient considérablement l'avenir de l'énergie.

Énergie NB est déterminée à assurer un avenir plus vert. Nous devons diminuer le recours à la production classique émettant des gaz à effet de serre (GES), accueillir la production d'énergie renouvelable fournie par nos clients et réduire l'utilisation de l'énergie grâce à une gestion comportementale et directe de la demande.

Si nous ne faisons rien, nos clients s'en chargeront. Ils prendront eux-mêmes l'initiative de réduire les GES et deviendront plus autonomes sur le plan énergétique. Nous voulons faire partie de leur avenir énergétique, et nous y parviendrons en offrant non seulement de l'électricité, comme c'est le

cas depuis plus de 100 ans, mais également une gamme de solutions énergétiques pour aider nos clients dans cette nouvelle aventure.

Parallèlement, nos défis environnementaux et clients soulèvent des préoccupations quant à la façon dont nous exploiterons notre réseau électrique à l'avenir. Les changements dans les profils de charge des clients en raison des ressources énergétiques décentralisées (RED) et des véhicules électriques (VE) doivent être anticipés et surveillés afin que le réseau soit conçu ou adapté en conséquence. Étant donné que nous ne pouvons pas influencer ce que nous ne pouvons pas voir, nous devons rapidement accroître la capacité de télémétrie et de régulation de notre réseau de distribution et au-delà, jusqu'à la périphérie du client.

Nous devons comprendre l'incidence grâce à une modélisation plus fréquente du réseau de distribution et à des outils avancés dans la salle de commande. Et enfin, nous devons continuer à apprendre. Une grande question demeure : jusqu'où devons-nous aller avec nos nouvelles offres de solutions énergétiques? Par exemple, devons-nous laisser la prolifération de toutes les RED se produire naturellement et y réagir, ou devons influencer certaines d'entre elles par le biais de programmes destinés aux clients et de structures tarifaires?

## 2.2 Projet du SRT et pourquoi le mener maintenant

Énergie NB a lancé son programme Écoénergie NB à l'été 2012, en partenariat avec Siemens Canada. Le programme suit une méthodologie appelée Smart Grid Compass, qui a divisé l'effort de construction du réseau électrique intelligent d'Énergie NB en cinq domaines de travail désignés comme suit : exploitation du réseau, service à la clientèle, gestion des actifs et des effectifs, énergie intelligente et organisation intelligente. Les dernières cibles du programme sont une réduction annuelle de l'énergie de 103 GWh et une réduction de la demande de pointe de consommation hivernale de 90 MW d'ici 2040.

Au départ, le SRT ne faisait pas partie des technologies envisagées, mais il aurait fait partie de la capacité d'exploitation du réseau participant à la gestion de la charge de réseau. Peu de temps après, alors qu'Énergie NB préparait son analyse de rentabilisation pour la mise à niveau de ses radiomètres analogiques et à faible portée, il est devenu évident que le SRT devait être pris en compte, car il bénéficierait grandement des nombreux points de mesure de la tension fournis par une infrastructure de mesure avancée (IMA) moderne, tout comme le SRT renforce l'analyse de rentabilisation pour le déploiement de l'IMA.

Énergie NB était au courant des efforts déployés ailleurs à l'égard du SRT; ce n'était pas un nouveau concept. De nombreux services publics ont mis à l'essai et déployé le SRT jusqu'à un certain point. Notre analyse initiale a été effectuée à partir du travail d'autrui et une chute de tension de 3 % ainsi qu'un facteur du SRT de 0,5 donneraient un avantage de réduction de consommation d'énergie annuelle de 74 GWh; ce qui représente une partie importante de la cible de réduction énergétique du programme Écoénergie NB. Une analyse plus détaillée a été réalisée ultérieurement pour étayer l'analyse de rentabilisation de l'IMA. Les travaux de Kinectrics inc. ont validé les hypothèses antérieures d'Énergie NB, mais ont recommandé une réduction de tension plus prudente de 2,5 %, ce qui se traduit par un rendement inférieur de 64 GWh par année.

Ni l'étude d'Énergie NB, ni celle de Kinectrics n'ont abordé l'utilisation de la réduction de la tension pour réduire la demande. L'exigence d'Énergie NB en matière de réduction de la demande est attribuable aux pointes de consommation hivernales du réseau, où une importante composante de chauffage électrique rend tout effort de réduction de courte durée.

Face à un avenir qui verra davantage de sources de production d'énergie renouvelable appartenant aux clients s'ajouter, le déploiement du SRT signifie également la mise en place de technologies de régulation de la tension qui permettraient l'optimisation continue de la tension des artères afin d'assurer l'efficacité et la stabilité du réseau local.

Tous les travaux réalisés jusqu'à maintenant ont mis en évidence le fait que les avantages de la réduction de la consommation d'énergie et de la demande découlant du SRT dépendent grandement de la situation géographique, de l'environnement et de la composition de la charge, d'où la nécessité de cette démonstration pilote et de cette étude au Nouveau-Brunswick.

### **3. Participants au projet**

Ce projet est une initiative conjointe de la Société d'Énergie du Nouveau-Brunswick et du ministère des Ressources naturelles Canada dans le cadre du Programme d'innovation énergétique. Énergie NB a assumé avec succès un rôle de leader dans tous les aspects et toutes les phases du projet, notamment la sélection des fournisseurs, l'acquisition et l'installation du matériel et des logiciels, la conception de la solution, la configuration du réseau, la configuration des compteurs, l'installation des compteurs, la mise à l'essai et la mise en œuvre, la mobilisation des clients, l'amélioration des processus, la gestion du changement, la formation et les communications. Énergie NB a fait appel aux participants externes suivants pour l'aider à concevoir, à mettre en œuvre et à exécuter le projet :

Conseil national de recherches du Canada : Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) est le plus important organisme fédéral de recherche et de développement au Canada. Le CNRC s'associe à l'industrie canadienne pour sortir la recherche du laboratoire et lui trouver des applications commerciales dont les retombées bénéficieront à l'ensemble de la population. Cette approche axée sur le marché permettra d'innover plus rapidement, de rehausser les conditions de vie des Canadiens et de trouver une solution à quelques-uns des problèmes les plus pressants qui touchent aujourd'hui la planète. Chaque année, les scientifiques, les ingénieurs et les spécialistes en affaires travaillent en étroite collaboration avec des milliers d'entreprises canadiennes afin de les aider à mettre au point de nouvelles solutions et technologies et à atténuer les risques qui y sont associés.

Le CNRC a commencé par élaborer des mesures et une méthodologie d'analyse des données pour évaluer les économies réalisées par les bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels lorsqu'un réseau de distribution électrique fonctionne à la plus basse tension autorisée par la norme de l'Association canadienne de normalisation (CSA).

Le CNRC a également effectué une recherche exhaustive dans la littérature internationale portant sur les méthodes de pointe relatives au SRT qui sont utilisées par les services d'électricité. Les résultats de la recherche ont été combinés à des entretiens avec des équipes de projet au sein de services d'électricité canadiens afin d'aider à l'élaboration de lignes directrices sur les pratiques exemplaires pour l'expérience du SRT. L'équipe du CNRC a recueilli et analysé les données provenant des postes, des artères et des compteurs intelligents et a estimé les économies réalisées grâce aux mesures du SRT. Les résultats de l'étude pilote ont été présentés conjointement par Énergie NB et le CNRC en février 2021 lors d'un atelier organisé par le CNRC à l'intention des services d'électricité.

Dominion Voltage Inc. : DVI est une filiale de la société Dominion Energy, basée en Virginie aux États-Unis, qui est l'un des principaux fournisseurs de technologies de réseau électrique intelligent d'optimisation de la tension et de la puissance réactive (VVO). Son logiciel EDGE® fournit des solutions logicielles avancées aux services d'électricité d'Amérique du Nord pour le système de réduction de la tension de (SRT), la gestion de la demande, la conformité et la fiabilité du réseau de distribution, ainsi que la capacité d'hébergement des RED. DVI détient 28 brevets américains et étrangers pour son approche spécialisée en matière de régulation et d'analyse des réseaux de distribution. EDGE® intègre de façon dynamique les mesures de tension provenant de l'infrastructure de mesure avancée (IMA) à ses algorithmes de régulation adaptatifs pour optimiser le réseau de distribution électrique.

Grâce à 25 déploiements de VVO dans des services d'électricité en Amérique du Nord, dont des programmes du SRT financés par RNCAN en Alberta et au Nouveau-Brunswick et un projet du SRT financé par le Fonds d'économie de l'Ontario de la Société indépendante d'exploitation du réseau d'électricité (SIERE), le logiciel de DVI permet aux services d'électricité de plaider en faveur de l'IMA et d'autres investissements dans le réseau, tout en réalisant des économies d'énergie, en réduisant les émissions de carbone et en diminuant la facture des consommateurs. Pour obtenir de plus amples renseignements sur DVI, veuillez consulter le site à l'adresse [www.dvigridsolutions.com](http://www.dvigridsolutions.com).

Utilismart Corporation : Établie à London, en Ontario, Utilismart Corporation fournit des analyses avancées basées sur la mémoire métadonnées, ainsi qu'une vaste gamme de solutions logicielles et de services de données liés à l'infrastructure de mesure avancée (IMA) pour les services publics, les municipalités et les clients industriels, commerciaux et résidentiels au Canada et en Amérique du Nord. Elle aide les petites et moyennes entreprises de services publics à améliorer la fiabilité de leur réseau, à accroître leur efficacité opérationnelle et à réduire les coûts de gestion du réseau de distribution. Utilismart s'efforce d'offrir des solutions complètes qui accélèrent la transformation numérique, notamment la gestion des données des compteurs, la gestion des pannes, l'analyse technique, la facturation, la gestion des actifs, la visualisation du réseau, l'analyse des tarifs et la gestion de l'énergie. Veuillez consulter leur site web à l'adresse [www.utilismartcorp.com](http://www.utilismartcorp.com).

## 4. Caractéristiques d'Énergie NB

Depuis 100 ans, Énergie NB fait partie du tissu social du Nouveau-Brunswick, au Canada. Le service d'électricité provincial est responsable de la production, du transport et de la distribution de l'électricité qui alimente la vie et les moyens de subsistance de plus de 400 000 clients au Nouveau-Brunswick.

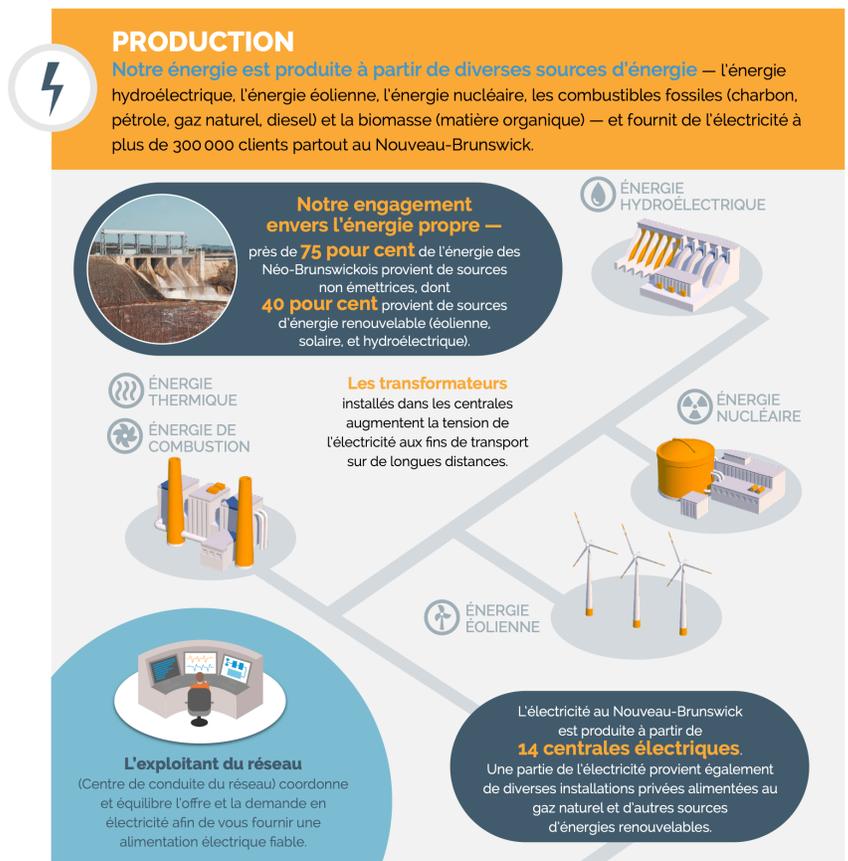
Énergie NB possède l'un des parcs de production les plus diversifiés en Amérique du Nord, dont la capacité de production totale combinée est de 3790 MW, en plus d'une puissance installée supplémentaire de 355 MW d'énergie éolienne et de 259 MW d'autres capacités énergétiques renouvelables fournies par des tiers dans le cadre d'accords d'achat d'électricité (AAE).

Nos employés, plus de 2600 experts en énergie, fournissent une énergie sûre et durable à nos clients au moyen de 21 358 km de lignes de distribution, de postes, de bornes et de postes extérieurs qui sont interreliés par 6 905 km de lignes de transport.

En adoptant une approche axée sur le client, Énergie NB s'engage à produire une énergie durable pour les générations de Néo-Brunswickois à venir. Cet engagement comprend notamment des investissements dans des programmes d'efficacité énergétique, des solutions énergétiques, des sources d'énergie renouvelable et des technologies de réseau intelligent.

La Corporation de commercialisation d'énergie du Nouveau-Brunswick, une filiale en propriété exclusive d'Énergie NB, mène des activités de commerce d'énergie sur les marchés à l'extérieur de la province.

En 2019-2020, le service public a fourni 44 % du total des ventes d'électricité dans la province à partir de ressources renouvelables, dépassant ainsi l'objectif provincial de 40 %. Si l'on ajoute à cela le fait que l'énergie nucléaire couvre environ 36 % de notre demande dans la province, nous avons atteint un taux d'approvisionnement en électricité sans émissions de 80 % pour nos clients.



### 3. Objectifs du projet du SRT

L'objectif principal de ce projet est de démontrer la régulation dynamique de la tension en installant des systèmes de régulation et des dispositifs avancés et réactifs dans certains postes. La régulation dynamique de la tension accroît la stabilité du système et augmente la capacité du réseau électrique à s'adapter à la production variable d'énergie renouvelable et décentralisée.

Les résultats du projet comprennent notamment les suivants :

- Permettre la pénétration accrue des sources d'énergie renouvelable et décentralisée qui peuvent réduire les émissions de GES en compensant les sources émettrices.
- Faire la preuve de la rentabilisation pour qu'Énergie NB poursuive le déploiement de cette solution dans plus de 70 postes, tel qu'il est indiqué dans l'analyse de rentabilisation à l'appui.

L'objectif de ce projet est de démontrer une solution de réseau intelligent évolutive pour surveiller et réguler de façon dynamique les tensions aux artères nécessaires au déploiement à grande échelle des énergies renouvelables dans les milieux urbains et ruraux. Voici les avantages qui y sont associés :

- Permettre une pénétration accrue de la production d'énergie renouvelable et décentralisée, qui remplacera les centrales émettrices de GES.
- Réduire la consommation d'énergie de la collectivité en permettant la mise en place de stratégies dynamiques de réduction de la tension.
- Modifier la demande de pointe en permettant le déploiement de stratégies de régulation de la tension pour réduire la consommation de pointe, ce qui diminue le besoin de centrales de pointe émettrices de GES.

De plus, les Canadiens et le secteur de l'électricité profiteront des avantages suivants :

- La disponibilité accrue des connaissances scientifiques et techniques grâce à la documentation des rapports, aux promotions lors de conférences ciblées et aux publications.
- Les contributions du service public, de l'industrie et du secteur public et la collaboration entre eux (c.-à-d. Énergie NB, Siemens Canada et le Conseil national de recherches du Canada, respectivement).

## 4. Évolution du projet

### 4.1. Écarts par rapport aux concepts initiaux du projet

Il n'y a pas eu d'écart majeur par rapport aux concepts initiaux du projet, mais certaines variables externes ont entraîné une modification du calendrier du projet. Il s'agit notamment des éléments suivants :

- 1) Le concept initial du projet pilote du SRT comprend l'utilisation de l'IMA (compteurs intelligents). Au cours du quatrième trimestre de l'exercice 2018, la haute direction d'Énergie NB a ordonné que tout déploiement de l'IMA et toute mobilisation connexe des clients concernant les compteurs intelligents soient reportés à l'automne 2018. Cette décision exécutive était directement liée à l'audience sur la requête de majoration tarifaire générale (MTG), qui comprend un examen des projets d'immobilisations évalués à plus de 50 millions de dollars. Le projet d'IMA d'Énergie NB entre dans cette catégorie. Toutes les annonces de projets externes liées à ce projet ont également été reportées à l'automne 2018. Cela a entraîné un retard de sept (7) mois dans le calendrier du projet propre au recrutement des clients et aux activités d'installation des compteurs. RNCan a officiellement reconnu ce fait en modifiant l'accord de contribution afin de reporter la date de clôture du projet du 31 mars 2020 au 31 mars 2021.
- 2) Le plan initial du projet proposait un projet pilote de huit (8) mois incluant trois postes. En s'appuyant sur les pratiques exemplaires de l'industrie recensées par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), ce projet pilote a été étendu à douze (12) mois afin de recueillir des données pour les quatre saisons. Parallèlement, un quatrième poste a également été ajouté, augmentant ainsi la région géographique concernée et faisant passer l'objectif d'installation de 550 à 700 compteurs.
- 3) Les mesures de confinement prises par les provinces canadiennes au milieu du mois de mars 2020 en vue de ralentir la propagation du virus de la COVID-19 ont aussitôt réduit l'activité économique et modifié le profil de consommation d'électricité. L'incidence sur les profils de charge varie d'une artère à l'autre en fonction de la composition de la charge résidentielle, commerciale et industrielle. Alors que les charges résidentielles augmentaient pendant la journée, les charges commerciales et industrielles diminuaient. Cette situation a créé des problèmes de mesure et de validation (M et V) pour le CNRC.

Le CNRC a mis en œuvre une solution pour s'assurer que l'analyse de M et V des économies attribue correctement les changements dans la consommation d'électricité à la réduction de la tension et non au ralentissement périodique de l'activité économique. Veuillez consulter la section 6.4 du présent rapport pour

obtenir des renseignements sur les mesures prises par le CNRC pour atténuer les répercussions de la pandémie en cours.

## 4.2. Calendrier du projet

La présentation de ce projet a été amorcée en octobre 2017 et l'accord de contribution avec RNCAN a été approuvé officiellement en février 2018. Le projet pilote du SRT a commencé le 6 novembre 2019 et s'est terminé avec succès le 30 novembre 2020. La date d'achèvement du projet était fixée au 30 mars 2021, mais certains engagements relatifs à la clôture finale du projet et aux rapports de RNCAN ont été remplis au premier trimestre de l'exercice 2021-2022.

Le tableau 4.1 suivant présente un résumé du calendrier du projet et des principales activités par exercice.

| AF 2017-2018  | AF 2018-2019   | AF 2019-2020  | AF 2020-2021   | AF 2021-2022  |
|---|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Présentation de la proposition oct. 2017</li> <li>Conception de solutions de haut niveau</li> <li>Accord de contribution de RNCAN févr. 2018</li> <li>Parachever les contrats avec les intervenants</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Défendre le système d'extrémité de tête MV90</li> <li>Compteurs commandés, installés</li> <li>Travail sur le terrain aux postes</li> <li>Établir un environnement technique au CCE</li> <li>Analyse de l'industrie par le CNRC sur le SRT dans les services publics américains et canadiens</li> <li>M et V confirmés</li> <li>Fine pointe de la technologie</li> <li>Notification et recrutement des clients</li> <li>flux de travail – de la notification à la facturation</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Modification de la date de fin du projet sur l'AC, 31 mars 2021</li> <li>Passer à un pilote de 12 mois</li> <li>Ajout d'un 4e poste</li> <li>Essai de système de bout en bout de la solution technique</li> <li>Installation complète des compteurs</li> <li>Formation des utilisateurs</li> <li>Logiciel EDGE et environnement fonctionnant en mode surveillance du 23 août au 5 nov.</li> <li>Début du projet pilote du SRT de 12 mois le 6 novembre 2019</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fin du projet pilote du SRT</li> <li>Analyse du SRT pour les 4 saisons par le CNRC</li> <li>Rafraîchissement périodique de l'ensemble de compteurs de valeur indice</li> <li>Résolution des problèmes – techniques et clients</li> <li>Élaborer la feuille de route du SRT</li> <li>Mise hors service du projet pilote</li> <li>Communications avec les intervenants</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Remplir les engagements de RNCAN en matière de rapports</li> <li>Progression de la feuille de route du SRT</li> <li>Rapport sur les résultats du SRT (31 mars 2022)</li> </ul> |

Tableau 4.1 : Calendrier du projet

## 4.3. Défis du projet

Le tableau 4.2 ci-dessous présente un résumé des défis rencontrés tout au long du cycle de vie du projet. Cette harmonisation avec le calendrier du projet présenté à la section 4.2 montre comment la nature des défis rencontrés est généralement liée aux types d'activités en cours dans le projet. Par exemple, les défis initiaux étaient liés au délai d'exécution pour parachever l'accord de contribution et conclure les contrats avec les intervenants. Les éléments en caractères gras représentent les principaux défis et sont décrits plus en détail dans d'autres sections du présent document.

| AF 2017-2018   | AF 2018-2019   | AF 2019-2020   | AF 2020-2021   | AF 2021-2022  |
|--|--|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Délai de négociation des contrats</li> <li>• Signature de l'AC</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Au T1, la mobilisation des clients externes liée à l'utilisation des compteurs intelligents a été reportée au 1er novembre 2018.</li> <li>• Retard de 7 mois pour le projet pilote du SRT</li> <li>• Conduit à la modification de l'AC</li> <li>• Projet pilote est passé de 8 à 12 mois</li> <li>• Ajout d'un 4e poste</li> <li>• Rationalisation du recrutement de nos clients</li> <li>• Processus de facturation des clients</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribution de l'installation des compteurs sur les artères des postes</li> <li>• Réduction au minimum du temps entre les compteurs dans les maisons et le démarrage du projet pilote</li> <li>• Frais supplémentaires d'hébergement et de téléphonie cellulaire</li> <li>• Groupe d'experts-conseils et formation</li> <li>• Problème de rendement du système MV90 partagé</li> <li>• Taille de l'ensemble d'indicateurs</li> <li>• Problèmes techniques</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximisation du nombre de jours de marche du SRT</li> <li>• Problèmes techniques entraînant un retour sporadique à la valeur par défaut de 125 V</li> <li>• Maintenance planifiée des postes participants</li> <li>• Problèmes avec les clients commerciaux</li> <li>• Pannes imprévues, fermeture d'école, etc.</li> <li>• COVID-19</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Progression du SRT</li> <li>• Feuille de route - nombreuses dépendances</li> </ul> |

Tableau 4.2 : Résumé des défis du projet

Voir l'annexe A pour obtenir de plus amples renseignements sur le recrutement des clients.

## 5. Architecture du SRT

La présente section fournit une description de l'architecture du projet pilote du SRT mise en œuvre, un aperçu général de la méthodologie du SRT suivie, les sources de données ainsi que les rôles et responsabilités des principaux intervenants concernés. Une description plus détaillée de la méthodologie du SRT et de la stratégie de mesure et de vérification suivie est fournie à la section 6.0.

Quatre postes situés à travers le Nouveau-Brunswick, totalisant environ 5000 clients résidentiels et commerciaux, ont été mis à contribution dans le cadre de ce projet pilote.



Figure 5.1 : Carte des postes liés au SRT

- Poste de la rue Priestman situé à Fredericton, au Nouveau-Brunswick.

- Poste de la rue Commercial situé à Moncton, au Nouveau-Brunswick.
- Poste du chemin Elliot situé à Quispamsis, au Nouveau-Brunswick.
- Poste de Bathurst-Ouest à Bathurst, au Nouveau-Brunswick.

Le projet pilote du SRT a été lancé le 6 novembre 2019 pour une période de 12 mois se terminant le 30 novembre 2020, ce qui a permis la collecte de données pour les quatre saisons. Une solution fondée sur l'IMA a été mise en œuvre grâce à l'installation d'environ 700 compteurs cellulaires Itron de deuxième génération dans les quatre postes. Des données à intervalle de quinze (15) minutes ont été recueillies une fois par jour pour tous les compteurs de l'IMA. Certains des compteurs de l'IMA installés (~165) ont été traités comme un ensemble de compteurs de valeur indice et ont été relevés toutes les 15 minutes. Les données des compteurs de l'IMA sont recueillies par le biais d'une plateforme hébergée dans le nuage et gérée par Utilismart. Toutes les données de l'IMA sont transférées à Énergie NB au moyen d'un protocole de transfert de fichier sécurisé (SFTP).

La méthodologie du SRT mise en œuvre a appliqué une approche consistant à alterner les jours de mise en marche et d'arrêt du SRT. En commençant par un jour où le SRT est arrêté, à 4 h, un message de contrôle automatisé est envoyé aux changeurs de prises en charge du poste pour passer de la valeur par défaut de 125V à un point de consigne recommandé, mais qui ne doit pas être inférieur à 118 V. L'opération déclenche le début du jour où le SRT est en marche.

D'après les données des compteurs de l'IMA recueillies à partir de l'ensemble de valeur indice et des données du poste reçues par le SCADA, le logiciel de régulation EDGE® de DVI émet des recommandations de points de consigne au système SCADA qui les communique à la commande du changeur de prises du poste pour augmenter ou diminuer la tension de sortie du poste de transformation par paliers de 1 V. Cette logique de régulation fonctionne en continu pendant une période de 24 heures et revient immédiatement à la valeur par défaut de 125V à 3 h 59, ce qui déclenche la fin du jour où le SRT est en marche et le début du jour où le SRT est arrêté. Les données de l'IMA sont recueillies pendant le jour où le SRT est arrêté, mais aucune recommandation du régulateur EDGE® n'est émise.

La figure 5.2 donne un aperçu de l'infrastructure mise en place pour le projet pilote du SRT, des interfaces nécessaires pour permettre la collecte des données et des domaines de responsabilité des intervenants. Les données des compteurs des postes et les données des compteurs de l'IMA recueillies sont envoyées sur une base régulière au CNRC par l'entremise du SFTP pour être saisies dans leur entrepôt de données aux fins d'analyse. La figure 5.3 donne un aperçu du flux de données entre les divers intervenants chargés de soutenir le projet pilote du SRT.

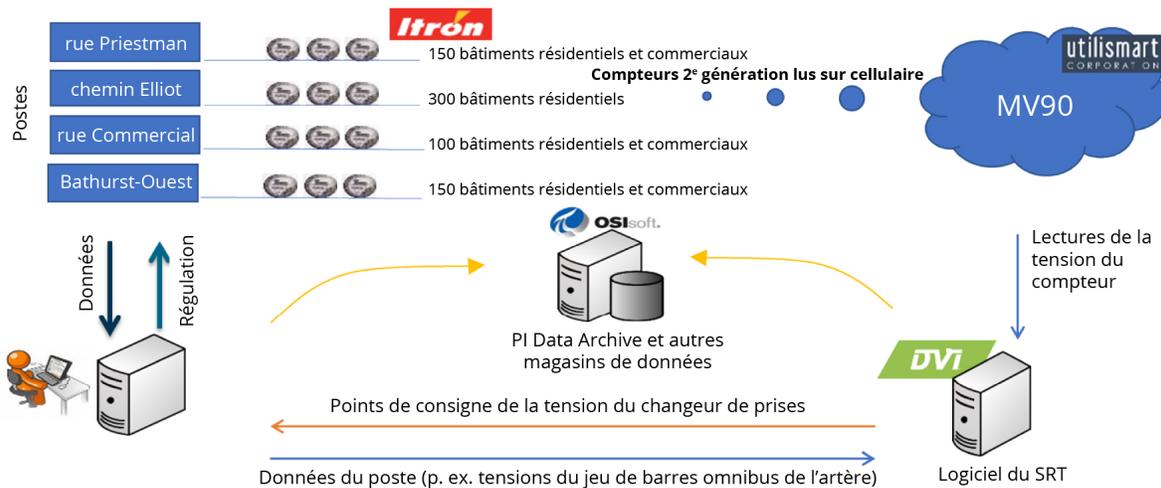


Figure 5.2 : Aperçu de l'infrastructure du projet pilote du SRT

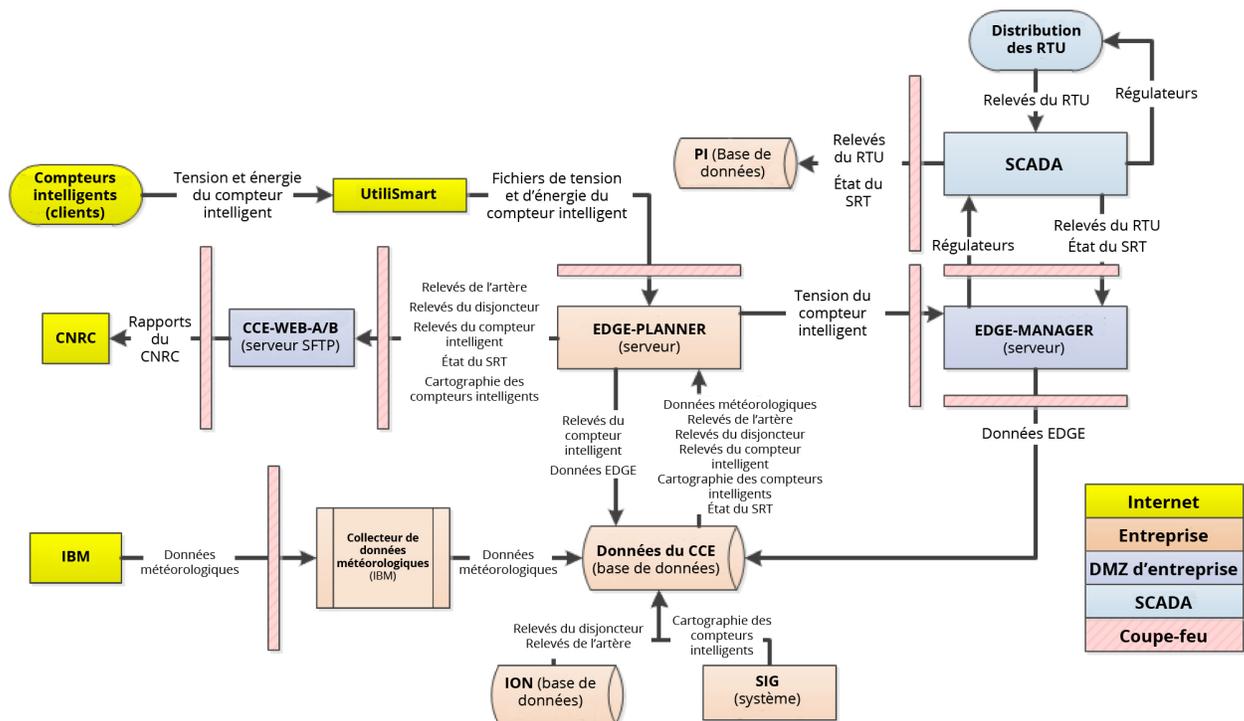


Figure 5.3 : Modèle de flux de données du SRT

## 6. Résultats du SRT

### 6.1. Méthode de mesure et de vérification du SRT

Les économies réalisées grâce au SRT sont mesurées à l'échelle du système et dépendent d'une variété de facteurs, notamment la composition de la charge des catégories de clients (p. ex., la composition de la charge résidentielle, commerciale et de la petite industrie, etc.), le pourcentage de charge, la saison, le jour de la semaine, l'heure de la journée, la température extérieure, le taux d'humidité et d'autres facteurs liés aux activités des clients.

L'indicateur clé de l'évaluation des économies d'énergie réalisées grâce au SRT est le facteur du SRT, qui est défini comme le rapport entre les économies de puissance ou d'énergie exprimées en pourcentage et la réduction de tension exprimée en pourcentage, comme suit :

$$\text{Facteur SRT de puissance (SRT}_{\text{puissance}}) = \frac{\text{Variation de puissance (\%)}}{\text{Variation de tension (\%)}} = \frac{\frac{\Delta \text{Puissance (kW)}}{\text{Puissance (kW)}} \times 100}{\frac{\Delta \text{Tension (V)}}{\text{Tension (V)}} \times 100}$$

$$\text{Facteur SRT d'énergie (SRT}_{\text{énergie}}) = \frac{\text{Variation d'énergie (\%)}}{\text{Variation de tension (\%)}} = \frac{\frac{\Delta \text{Énergie (kWh)}}{\text{Puissance (kW)}} \times 100}{\frac{\Delta \text{Tension (V)}}{\text{Tension (V)}} \times 100}$$

Outre les facteurs du SRT de puissance active et d'énergie, il existe d'autres rapports utiles à l'évaluation de l'exploitation du SRT, tels que les facteurs du SRT de puissance réactive (kvar) et d'énergie réactive (kvarh) dont les définitions sont semblables à celles qui précèdent.

Voir l'annexe B pour obtenir de plus amples renseignements sur le SRT lié à l'industrie.

## Économies saisonnières

Les économies réalisées grâce au SRT dépendent de la saison. L'expérience relative au SRT a commencé le 28 novembre 2020. Le plan initial consistait à estimer les économies saisonnières en fonction de la période astronomique, mais l'analyse des données d'expérience du SRT du printemps a révélé que l'utilisation de la classification des saisons météorologiques serait un meilleur indicateur des économies saisonnières. Les saisons astronomiques sont définies par la position de la Terre par rapport au Soleil, tandis que les saisons météorologiques sont basées sur le cycle annuel des températures. La période hivernale a été prolongée jusqu'au 13 mars 2020 pour coïncider avec le début du confinement à l'échelle de la province attribuable à la COVID-19. Les périodes astronomiques, météorologiques et saisonnières corrigées pour l'étude du SRT sont présentées au tableau 6.1 ci-dessous :

| Saisons   | Saisons astronomiques           | Saisons météorologiques                       | Périodes saisonnières corrigées pour l'étude du SRT |
|-----------|---------------------------------|---|---|
| Hiver     | Du 21 déc. 2019 au 19 mars 2020 | Du 1 <sup>er</sup> déc. 2019 au 29 févr. 2020 | Du 28 nov. 2019 au 13 mars 2020                     |
| Printemps | Du 20 mars 2020 au 19 juin 2020 | Du 1 <sup>er</sup> mars 2020 au 31 mai 2020   | Du 16 mars 2020 au 31 mai 2020                      |

|         |                                  |   |   |
|---------|----------------------------------|---|---|
| Été     | Du 20 juin 2020 au 21 sept. 2020 | Du 1 <sup>er</sup> juin 2020 au 31 août 2020  | Du 1 <sup>er</sup> juin 2020 au 31 août 2020  |
| Automne | Du 22 sept. 2020 au 20 déc. 2020 | Du 1 <sup>er</sup> sept. 2020 au 30 nov. 2020 | Du 1 <sup>er</sup> sept. 2020 au 30 nov. 2020 |

Tableau 6.1 : Périodes des saisons annuelles pour l'étude du SRT

## Méthodes d'estimation

Pour l'étude du SRT d'Énergie NB, le plan expérimental n'a pas nécessité de groupe témoin distinct, car en mettant le SRT en marche et en l'arrêtant, le groupe étudié a servi de groupe témoin pour les jours où le SRT était arrêté et de groupe expérimental pour les jours où le SRT était en marche. Le système a été exploité à des niveaux de tension inférieurs et supérieurs un jour sur deux, et les jours d'arrêt du SRT ont fourni les données de base. La période de vérification d'un an a été répartie en plusieurs segments de mesure qui durent chacun une saison (c.-à-d. hiver, printemps, été et automne). Ces segments saisonniers devaient permettre de saisir une variété de profils de charge, d'activités économiques, de conditions météorologiques et toute la variabilité potentielle de la charge.

Les méthodes suivantes, qui sont décrites dans les sous-sections ci-dessous, ont été utilisées pour estimer les économies saisonnières d'énergie active et réactive réalisées grâce au SRT :

1. Méthode de la moyenne
2. Régression linéaire multivariable

### Méthode de la moyenne

La méthode de la moyenne est une méthode simple qui a été utilisée pour établir la moyenne des données sur les économies d'énergie réalisées au cours d'une période donnée. Étant donné que les économies d'énergie réalisées grâce au SRT sont de l'ordre de 1 à 3 %, et que les charges du transformateur sont très variables (c'est-à-dire qu'elles dépendent de l'heure de la journée, des conditions météorologiques et des saisons), il faudrait de nombreux mois de données pour obtenir un résultat significatif sur le plan statistique (c'est-à-dire que les économies estimées sont le résultat de mesures du SRT et ne sont pas attribuées au hasard).

### Régression linéaire multivariable

La régression linéaire multivariable est utilisée pour modéliser la relation de plus d'une variable indépendante (variables explicatives) sur une variable dépendante (réponse). La régression multivariable décompose la demande en composantes de base et autres composantes dépendantes (p. ex., la demande dépend des variables indépendantes telles que le temps, la saison, le jour de la semaine, la fin de semaine, la tension, etc.). Les données relatives à la demande enregistrées aux postes et aux artères sont normalisées en fonction de la température en utilisant les variables degré-jours de chauffage (DJC) et degré-jours de refroidissement (DJR). Dans le cadre

de ce projet, la méthode a été appliquée pour estimer les économies d'énergie de façon distincte pour chaque saison, afin d'estimer la réduction de la consommation d'électricité pour les jours de marche du SRT en se basant sur les relations présumées entre les températures extérieures, la tension et la demande d'électricité. Un modèle de régression multivariable distinct pour les économies réalisées grâce au SRT a été construit pour chaque poste et chaque artère.

Voir l'annexe C – Renseignements supplémentaires sur la régression linéaire multivariable pour obtenir de plus amples renseignements sur cette méthode d'analyse.

## 6.2. Réduction de la tension du SRT – Comparaison saisonnière

Pour chaque saison, on a calculé la moyenne des mesures de tension prises à des intervalles de 15 minutes pour les jours où le SRT était en marche et arrêté, afin d'obtenir les valeurs de tension moyennes pour tous les postes de l'étude. La variation en pourcentage de la tension est indiquée au tableau 6.2 pour différentes saisons.

| Poste                    | Tension                      | Hiver 2020 | Printemps 2020 | Été 2020 | Automne 2020 |
|--------------------------|------------------------------|------------|----------------|----------|--------------|
| 6233T001,<br>Quispamsis  | Tension moy. (SRT éteint)    | 125,65     | 125,77         | 125,70   | 125,48       |
|                          | Tension moy. (SRT en marche) | 121,39     | 119,77         | 118,63   | 119,01       |
|                          | $\Delta V$                   | 4,25       | 6,00           | 7,06     | 6,47         |
|                          | % $\Delta V$                 | 3,4        | 4,8            | 5,6      | 5,15         |
| 6503T001,<br>Moncton     | Tension moy. (SRT arrêté)    | 125,18     | 125,31         | 125,27   | x            |
|                          | Tension moy. (SRT en marche) | 118,76     | 118,63         | 118,47   | x            |
|                          | $\Delta V$                   | 6,42       | 6,68           | 6,80     | x            |
|                          | % $\Delta V$                 | 5,1        | 5,3            | 5,4      | x            |
| 6418T002,<br>Bathurst    | Tension moy. (SRT arrêté)    | 125,35     | 125,53         | 125,48   | 125,36       |
|                          | Tension moy. (SRT en marche) | 119,23     | 118,97         | 118,94   | 118,45       |
|                          | $\Delta V$                   | 6,12       | 6,56           | 6,54     | 6,91         |
|                          | % $\Delta V$                 | 4,88       | 5,22           | 5,21     | 5,52         |
| 6124T002,<br>Fredericton | Tension moy. (SRT arrêté)    | 124,58     | 124,47         | 124,57   | 124,60       |
|                          | Tension moy. (SRT en marche) | 119,16     | 118,66         | 118,99   | 118,75       |
|                          | $\Delta V$                   | 5,42       | 5,81           | 5,58     | 5,85         |
|                          | % $\Delta V$                 | 4,4        | 4,7            | 4,48     | 4,70         |

Tableau 6.2 : Tensions moyennes pour les jours de marche et d'arrêt du SRT

### 6.3. Économies liées au SRT obtenues à l'aide d'un modèle de régression multivariable basé sur les mesures de tension

#### Économies réalisées grâce au SRT pour les postes

Les économies d'énergie active estimées en utilisant la mesure de tension du poste de transformation PT comme variable indépendante en plus de la température extérieure sont présentées au Tableau 6.3.

| Poste                    | Tension                            | Hiver 2020 | Printemps 2020 | Été 2020 | Automne 2020 |
|--------------------------|------------------------------------|------------|----------------|----------|--------------|
| 6233T001,<br>Quispamsis  | Énergie moy./h (SRT arrêté), kW    | 7 775      | 5 507          | 3 351    | 8 214        |
|                          | Énergie moy./h (SRT en marche), kW | 7 569      | 5 316          | 3 174    | 7 898        |
|                          | Économie de kW en %                | 2,65       | 3,46           | 5,28     | 3,84         |
|                          | Facteur énergétique du SRT         | 0,78       | 0,73           | 0,94     | 0,82         |
| 6503T001,<br>Moncton     | Énergie moy./h (SRT arrêté)        | 6 521,98   | 4 696          | 4 295    | x            |
|                          | Énergie moy./h (SRT en marche)     | 6 361,13   | 4 552          | 4 087    | x            |
|                          | Économie de kW en %                | 2,47       | 3,07           | 4,84     | x            |
|                          | Facteur énergétique du SRT         | 0,48       | 0,58           | 0,89     | x            |
| 6418T002,<br>Bathurst    | Énergie moy./h (SRT arrêté)        | 7 011      | 4 659          | 3 210    | 4 070        |
|                          | Énergie moy./h (SRT en marche)     | 6 849      | 4 538          | 3 082    | 3 914        |
|                          | Économie de kW en %                | 2,31       | 2,60           | 3,99     | 3,83         |
|                          | Facteur énergétique du SRT         | 0,47       | 0,50           | 0,77     | 0,69         |
| 6124T002,<br>Fredericton | Énergie moy./h (SRT arrêté)        | 12 024     | 8 834          | 7 696,31 | 8 213,51     |
|                          | Énergie moy./h (SRT en marche)     | 11 725     | 8 455          | 7 362,97 | 7 897,77     |
|                          | Économie de kW en %                | 2,49       | 4,29           | 4,33     | 3,84         |
|                          | Facteur énergétique du SRT         | 0,57       | 0,92           | 0,97     | 0,82         |

Tableau 6.3 : Économies d'énergie active à l'aide de la mesure de la tension comme variable indépendante

#### Économies pour les artères

Le tableau 6.4 présente les facteurs du SRT pour l'énergie active par artère en utilisant la mesure de la tension comme variable indépendante.

| Poste       | Artère   | Hiver | Printemps | Été  | Automne | Composition de la charge en % |        |
|-------------|----------|-------|-----------|------|---------|-------------------------------|--------|
|             |          |       |           |      |         | Résidentielle                 | C et I |
| Quispamsis  | 6233R001 | 0,84  | 0,71      | 0,88 | 0,79    | 99                            | 1      |
|             | 6233R002 | 0,60  | 0,64      | 0,94 | 0,72    | 84                            | 16     |
| Moncton     | 6503B004 | 0,54  | 0,64      | 0,78 | x       | 16                            | 84     |
|             | 6503B005 | 0,37  | 0,51      | 1,17 | x       | 4                             | 96     |
| Bathurst    | 6418B007 | 0,44  | 0,44      | 0,75 | 0,52    | 58                            | 42     |
|             | 6418B008 | 0,47  | 0,50      | 0,72 | 0,46    | 48                            | 52     |
| Fredericton | 6124B009 | 0,46  | 0,75      | 0,46 | 0,38    | 61                            | 39     |
|             | 6124B010 | 0,47  | 0,99      | 1,01 | 0,72    | 31                            | 69     |
|             | 6124B011 | 0,77  | 0,93      | 0,89 | 0,79    | 74                            | 26     |
|             | 6124B012 | 0,50  | 0,90      | 1,12 | 1,02    | 0                             | 100    |

Tableau 6.4 : Économies d'énergie active par artères à l'aide de la mesure de la tension comme variable indépendante

#### 6.4. Incidence de la COVID-19 et des mesures de santé publique connexes sur l'étude

La présente section décrit l'estimation des économies observées dans les postes en appliquant le modèle de régression multivariable qui utilise les mesures de tension et les mesures de santé publique liées à la COVID-19 en plus du DJC et du DJR comme variables indépendantes. Cette analyse a été effectuée pour tenir compte de la réduction de l'activité économique et, par conséquent, de la consommation d'énergie au cours des diverses phases de santé associées à la COVID-19. Le tableau 6.5 présente les principaux indicateurs d'économie du SRT obtenus par cette méthode pour Quispamsis, Moncton, Bathurst et Fredericton.

\* Il n'y a pas eu de phase de santé publique pour la saison hivernale et, par conséquent, les valeurs de la colonne hiver n'ont pas été indiquées.

| Poste                    | Tension                            | Hiver 2020 | Printemps 2020 | Été 2020 | Automne 2020 |
|--------------------------|------------------------------------|------------|----------------|----------|--------------|
| 6233T001,<br>Quispamsis  | Énergie moy./h (SRT arrêté), kW    |            | 5 286          | 3 271    | 4 186        |
|                          | Énergie moy./h (SRT en marche), kW |            | 5 140          | 3 126    | 4 051        |
|                          | Économie de kW en %                |            | 2,75           | 4,44     | 3,22         |
|                          | Facteur énergétique du SRT         |            | 0,58           | 0,79     | 0,63         |
| 6503T001,<br>Moncton     | Énergie moy./h (SRT arrêté)        |            | 4 387          | 4 345    | x            |
|                          | Énergie moy./h (SRT en marche)     |            | 4 266          | 4 170    | x            |
|                          | Économie de kW en %                |            | 2,76           | 4,03     | x            |
|                          | Facteur énergétique du SRT         |            | 0,52           | 0,74     | x            |
| 6418T002,<br>Bathurst    | Énergie moy./h (SRT arrêté)        |            | 4 474          | 3 208    | 4 021        |
|                          | Énergie moy./h (SRT en marche)     |            | 4 365,90       | 3 091    | 3 907        |
|                          | Économie de kW en %                |            | 2,40           | 3,66     | 2,84         |
|                          | Facteur énergétique du SRT         |            | 0,46           | 0,70     | 0,52         |
| 6124T002,<br>Fredericton | Énergie moy./h (SRT arrêté)        |            | 8 413          | 7 704    | 8 159        |
|                          | Énergie moy./h (SRT en marche)     |            | 8 118          | 7 435    | 7 892        |
|                          | Économie de kW en %                |            | 3,52           | 3,49     | 3,28         |
|                          | Facteur énergétique du SRT         |            | 0,75           | 0,78     | 0,70         |

Tableau 6.5 : Économies d'énergie active grâce à un modèle de régression multivariable basé sur la tension et les mesures de santé publique

## 6.5. Résultats des émissions de gaz à effet de serre

La mesure du SRT permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) grâce à la réduction de la consommation d'énergie. Le tableau 6.6 présente le calcul des réductions des émissions de GES, d'abord en agrégeant les économies d'énergie annuelles totales à l'échelle du poste, puis pour l'ensemble de l'étude. Un facteur d'émission marginal de 275 tonnes/GWh est ensuite appliqué à l'ensemble des économies d'énergie pour estimer les réductions de GES.

| Paramètres   | Quispamsis | Moncton    | Bathurst | Fredericton | Étude pilote      |
|--|------------|------------|----------|-------------|-------------------|
|  | 6233T001   | 6503T001   | 6418T002 | 6124T002    | Agrégées          |
| kWh moyens (SRT arrêté)                              | 5 087,35   | 5 043,20   | 4 657,13 | 9 108,08    | 23 895,76         |
| kWh moyens (SRT en marche)                           | 4 924,70   | 4 840,23   | 4 540,76 | 8 801,87    | 23 107,56         |
| Delta kWh/h  | 162,65     | 202,97     | 116,37   | 306,21      |                   |
| Nombre de jours d'arrêt du SRT                       | 117        | 88         | 116      | 122         |                   |
| Nombre de jours de marche du SRT                     | 109        | 67         | 105      | 85          |                   |
| Économies d'énergie des jours de marche du SRT (kWh) | 425 485    | 326 371    | 293 264  | 624 659     | 1 669 779 kWh     |
| Économies d'énergie des jours de marche du SRT (GWh) |            |            |          |             | 1,67 GWh          |
| <b>Réduction des gaz à effet de serre</b>            |            |            |          |             | <b>459 tonnes</b> |
| facteur d'émission marginal                          | 275        | tonnes/GWh |          |             |                   |

Tableau 6.6 : Calcul des réductions des émissions de GES à l'aide de la méthode de régression (modèle 1)

Le modèle de régression basé sur la tension et la température extérieure permet d'estimer les économies d'énergie à 1,67 GWh (3,4 %) sur les dix artères sur une période d'un an grâce à une réduction moyenne de 5 % de la tension, et la réduction connexe des émissions de gaz à effet de serre à 459 tonnes. En revanche, la méthode de régression (modèle 2), qui inclut également les phases de santé de la province comme variables explicatives de la consommation d'énergie, donne une estimation plus prudente avec 1,4 GWh d'économies d'énergie et 386 tonnes de réduction de GES.

## 6.6. Réduction des besoins en puissance réactive grâce au SRT

Dans certains cas, dans des conditions de charge faible, les effets du SRT, et la réduction connexe de la tension, ainsi que la réduction de la puissance réactive requise par la charge ont entraîné une diminution du facteur de puissance. Du point de vue de la planification de la distribution, l'objectif est d'établir le bon équilibre entre les batteries de condensateurs fixes et commutés afin de fournir une compensation adéquate de la puissance réactive, mais sans compenser de façon excessive pendant les périodes où la charge est plus faible. Dans certains cas, les artères ayant fait l'objet de l'étude en période de pointe de consommation hivernale présentent un quasi-facteur de puissance à l'unité au jeu de barres omnibus du poste et nécessitent que le réseau de transport ne fournisse qu'une faible puissance réactive positive. Cependant, à mesure que la charge est réduite, le flux de volts-ampères réactifs (var) change et nous commençons à voir un scénario où les batteries de condensateurs surcompensent, ce qui se traduit par une valeur var négative au jeu de barres omnibus ou une absorption de vars à l'échelle du poste. Lorsque le SRT est mis en marche, la tension est réduite, l'énergie active est réduite et la puissance réactive requise par les artères est également réduite. La diminution du nombre de vars consommés par la charge a entraîné une augmentation du flux de vars en retour vers le poste à partir des batteries de condensateurs. Le résultat a été un facteur du SRT négatif (énergie réactive). Ces vars seront consommés par le transformateur du poste de distribution et les vars restants contribueront

aux besoins en puissance réactive sur le réseau de transport. En raison des pertes du réseau de distribution, il n'est pas économique de fournir des vars au réseau de transport à partir de batteries de condensateurs installées sur les artères de distribution.

## 6.7. Analyse de la réponse à la demande

### 6.7.1. Contexte

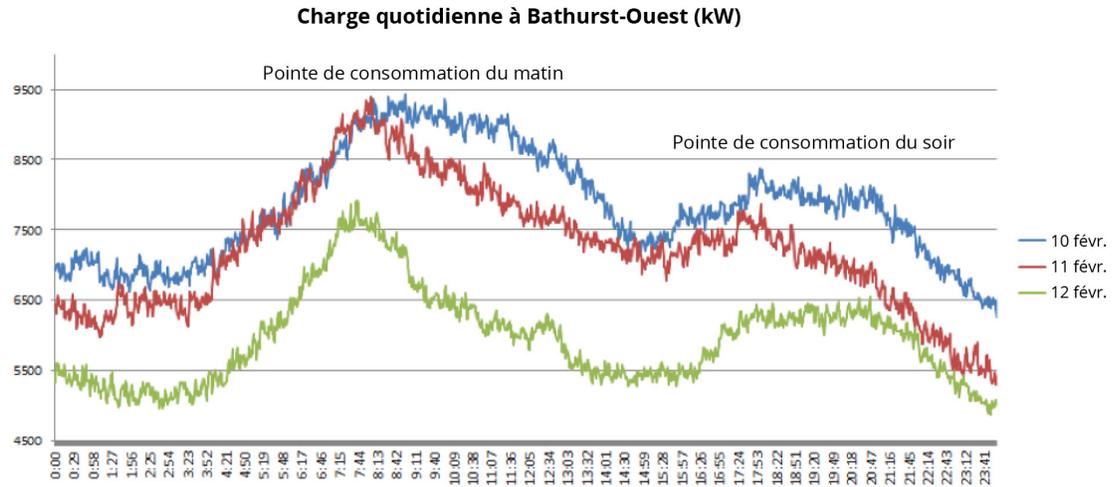
Pendant le temps de transition vers la mise en marche de la commande du SRT, la tension du poste passe de la valeur par défaut de 125 V (sur une base de 120 V) à aussi peu que 118 V en l'espace d'une minute. Lorsque cela se produit, la demande du poste est temporairement réduite. Cette réduction, appelée « réponse à la demande » (RD), est principalement attribuable à la réduction de la demande des charges résistives en aval, telles que le chauffage électrique, l'éclairage incandescent, les appareils électroménagers, etc. En général, après une réduction initiale de la demande, la diversité des charges en aval finira par se rétablir et la courbe de la demande reprendra son aspect antérieur à la RD.

Afin d'observer les effets de cette réduction temporaire de la demande et de son utilisation potentielle pour réduire la demande de pointe au poste, le calendrier « jour de marche » et « jour d'arrêt » du projet pilote du SRT a été suspendu et une série d'essais relatifs à la RD a été lancée les 3, 4 et 5 février. Au cours de ces essais, le temps de « transition rapide » pour passer en mode SRT a été choisi pour cibler les pointes de consommation locales du matin dans chacun des quatre postes. Les compteurs du poste (ION 7550) ont été réglés pour enregistrer la demande au poste (kW) et la tension du jeu de barres omnibus de 12,47 kV sur une base moyenne d'une minute.

Énergie NB est un service public de pointe de consommation en hiver, dont les pointes de consommation locales des postes se produisent généralement entre 7 h et 9 h et une deuxième pointe, plus petite, se produit en soirée. Les pointes de consommation locale des postes ne coïncident pas nécessairement avec celle du réseau. En raison du nombre limité de postes participant au projet pilote, on a ciblé la pointe de consommation locale du matin dans chaque poste.

Comme le montrent les profils de charge quotidiens types de la figure 6.1, la forme, la durée et l'ampleur de la pointe de consommation du matin peuvent varier considérablement d'un jour à l'autre, même si tous les autres facteurs semblent similaires (la température, un jour de la semaine par rapport à un jour de fin de semaine, etc.). Cela rend toute comparaison entre un « jour de référence » type et un « jour d'essai relatif à la RD » extrêmement difficile, étant donné le nombre limité de jours d'essai relatif à la RD.

Figure 6.1 : Profil de la charge quotidienne type en hiver à Bathurst-Ouest T002



### 6.7.2. Résultats

La figure 6.2 montre l'effet typique d'une réduction progressive de la tension du jeu de barres omnibus du poste sur le profil de charge de ce dernier. Comme on peut le constater, il y a une baisse importante de la charge lorsque la tension du jeu de barres omnibus du poste est réduite. Dans les quatre postes, cette diminution immédiate de la charge variait entre 3,8 % et 9,4 % et le délai de rétablissement de la courbe de charge antérieure à la RD se situait entre 12 et 49 minutes.

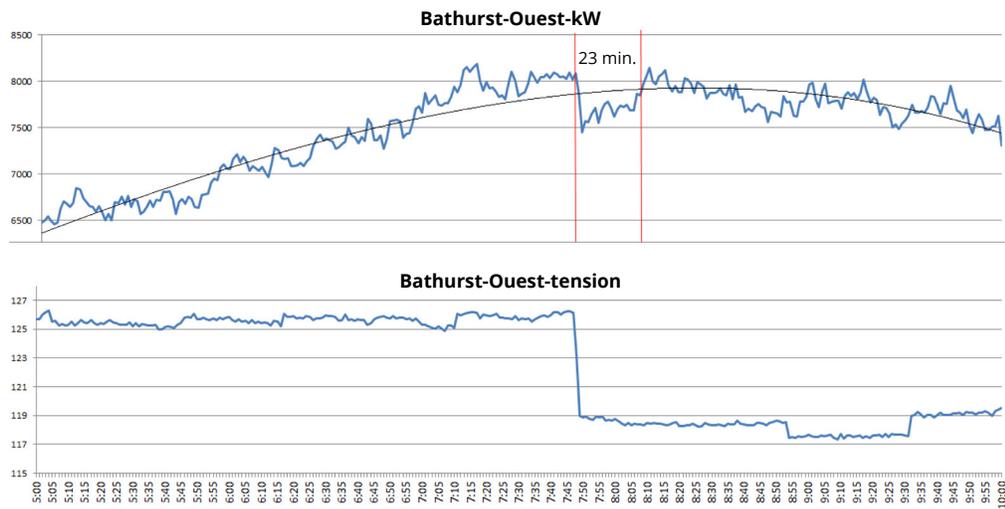


Figure 6.2 – Réponse de la demande du poste à une variation de tension progressive ( $\Delta V = -5,4\%$ ,  $\Delta kW = -7,9\%$ , Délai de rétablissement de la diversité de la charge = 23min)

Le tableau 6.7 présente un résumé des réductions moyennes de la charge au cours de la première minute et des 15 premières minutes suivant la modification du point de consigne de la tension. Le tableau indique également la durée moyenne avant le rétablissement de la diversité de la charge (durée moyenne de la réduction) et la réduction moyenne de la charge pendant cette période.

| Poste               | Réduction de la tension | Réduction moy. de la charge la 1 <sup>re</sup> minute | Réduction moy. de la charge les 15 premières minutes | Durée moy. de la réduction (min.) | Total Réduction moy. de la charge | Composition de la charge du poste    |  |                                       |
|---------------------|-------------------------|---|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
|                     |                         |   |  |                                   |                                   | Composition de la charge commerciale | Composition de la charge résidentielle | Composition de la charge industrielle |
| Bathurst-Ouest T002 | 5,2 %                   | 7,8 %   | 6,3 %  | 23                                | 5,6 %                             | 46,4 %                               | 53,4 %                                 | 0,2 %                                 |
| Rue Commercial T001 | 4,8 %                   | 4,8 %   | 1,7 %  | 32                                | 1,4 %                             | 81,6 %                               | 12,2 %                                 | 6,2 %                                 |
| Chemin Elliot T001  | 5,1 %                   | 7,0 %   | 1,8 %  | 22                                | 0,2 %                             | 7,5 %                                | 85,1 %                                 | 7,4 %                                 |
| Rue Commercial T002 | 5,7 %                   | 7,1 %   | 3,0 %  | 26                                | 2 %                               | 66,6 %                               | 32,8 %                                 | 0,6 %                                 |

Tableau 6.7 – Résultats des essais relatifs à la RD (moyenne de trois jours d'essai\*)

\*En raison d'un problème technique survenu le 4 février, le poste du chemin Elliot n'est pas passé en mode RD. Les données de cette section comprennent les résultats des essais des 3 et 5 février uniquement pour le poste du chemin Elliot.

Les données des trois jours d'essai illustrées à la figure 6.3 montrent une corrélation entre le pourcentage de diminution de la charge et le temps de rétablissement de la charge.

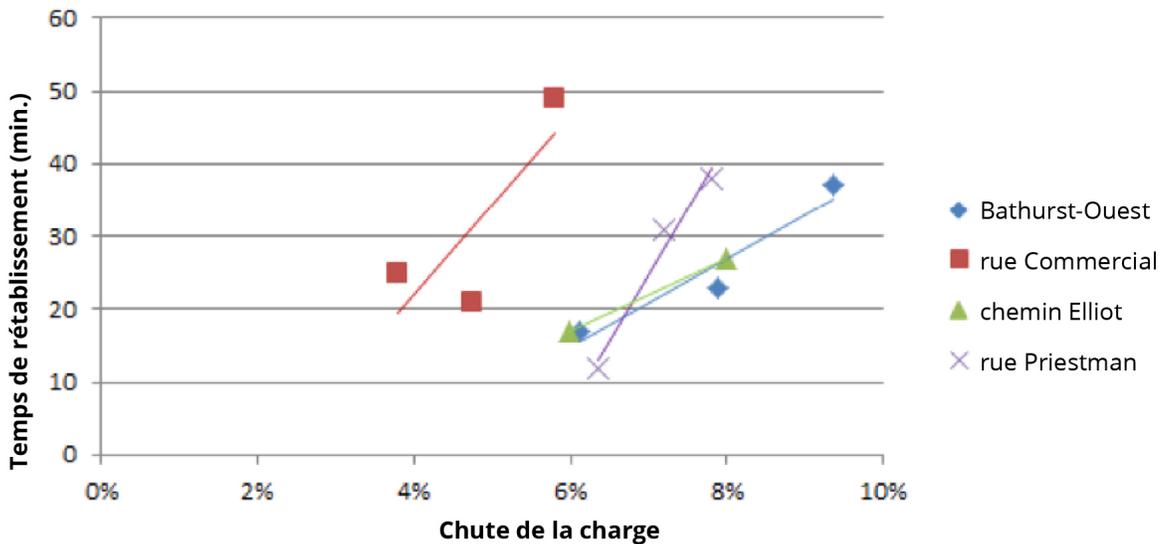


Figure 6.3 – Chute de la charge par rapport au temps de rétablissement de la charge

La figure 6.4 montre une corrélation entre la composition de la charge du poste et le temps moyen de rétablissement de la charge. De façon générale, plus le pourcentage de charge résidentielle était élevé, plus le rétablissement de la charge totale se faisait rapidement après l'événement de RD.

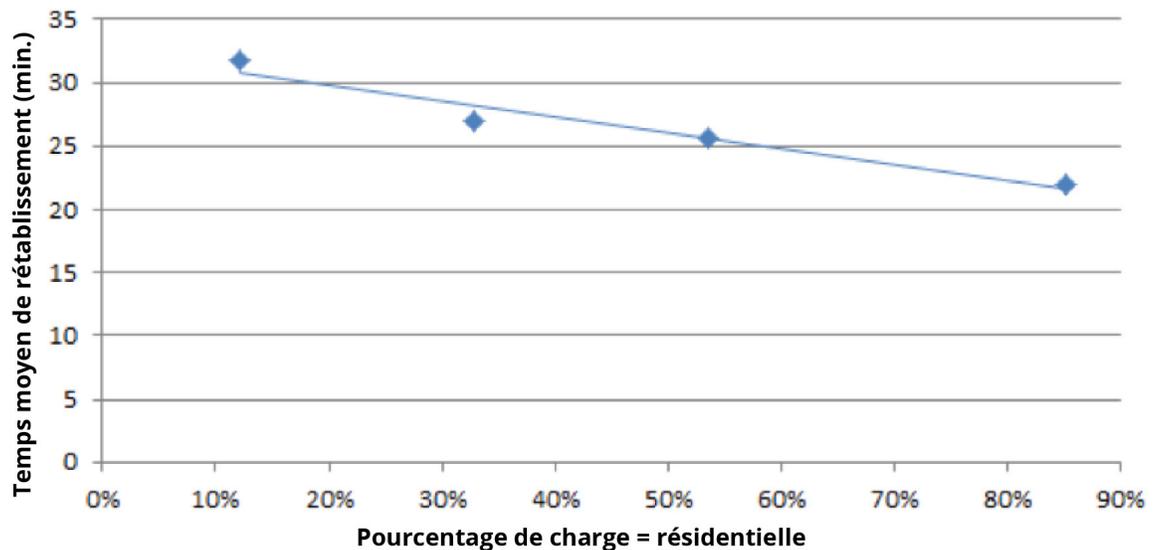


Figure 6.4 – Chute de la charge par rapport au temps de rétablissement de la charge

Il faudrait que le nombre de postes participant au projet pilote soit beaucoup plus important pour avoir un effet observable sur la pointe de consommation globale du réseau. Pour obtenir des résultats offrant un degré élevé de confiance sur le plan statistique, il faudrait augmenter le nombre de jours d'essai relatif à la RD et de jours de référence.

Il est évident que la réduction de la tension a entraîné une réduction supplémentaire temporaire de la charge dans les quatre postes. Dans tous les cas, cette réduction supplémentaire de la charge a duré moins de 50 minutes et a varié chaque jour dans chaque poste. Il semble y avoir une corrélation entre la composition de la charge du poste et la chute de la charge ainsi que le temps nécessaire pour rétablir la courbe de charge naturelle.

En fonction de la durée requise, il pourrait être possible de réduire la demande de pointe du réseau en utilisant la réponse à la demande. En raison du temps relativement court qu'il faut pour rétablir la diversité de la charge, une approche de réduction progressive de la consommation serait probablement nécessaire pour

assurer une certaine réduction de la charge pendant toute la durée de la pointe du réseau (une pointe de consommation du réseau peut durer d'une à deux heures). Dans ce type d'approche, les postes activés par le SRT pourraient être divisés en sous-ensembles et l'activation de la RD serait échelonnée de telle sorte que la tension soit réduite dans le sous-ensemble suivant avant que la diversité de la charge du sous-ensemble précédent ne soit entièrement rétablie. Une telle approche pourrait permettre une réduction temporaire de la charge au-delà de la réduction offerte par le SRT à lui seul. D'autres essais seraient nécessaires pour déterminer la meilleure approche en matière de RD à l'échelle du système et pour tirer d'autres conclusions.

Consulter l'annexe D – Données des essais quotidiens relatifs à la réponse à la demande pour voir les graphiques montrant l'effet d'une réduction de la tension du jeu de barres omnibus du poste sur le profil de charge de celui-ci pour chacun des quatre postes concernés par le projet pilote.

## 6.8. Usure du changeur de prises

Au cours d'une transition programmée vers la mise en marche du SRT, le logiciel EDGE® envoie un nouveau point de consigne à la commande du changeur de prises qui le fait passer de la tension par défaut (125 V) à la tension acceptable la plus basse en fonction des données relatives à l'ensemble de valeur indice (généralement 118 V). Lors d'une transition programmée vers l'arrêt du SRT, le point de consigne est ramené à 125 V.

Au cours d'une journée type de fonctionnement du SRT, la logique de régulation EDGE détermine si la tension doit être augmentée (1 V toutes les 30 minutes) ou diminuée (1 V toutes les 60 minutes). Si, pour quelque raison que ce soit, les données relatives à la valeur indice sont perdues, le logiciel EDGE® commence à « se désengager » de la commande du SRT en augmentant le point de consigne de 1 V toutes les demi-heures jusqu'à ce qu'il revienne à 125 V. Si les données relatives à la valeur indice sont rétablies, le logiciel EDGE® recommencera à fonctionner en mode SRT en augmentant ou en diminuant le point de consigne tel qu'il est décrit ci-dessus.

Une analyse a été effectuée pour déterminer si l'exploitation des quatre postes selon une stratégie alternant les jours de marche et d'arrêt du SRT pendant une période prolongée avait eu une incidence négative sur l'usure du CPC.

Le tableau 6.8 présente un résumé de l'usure de chaque CPC (réelle et historique).

|  | Rue Commercial 6124 | Rue Commercial 6503 | Chemin Elliot 6233T | Bathurst-Ouest 6418T |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Nombre d'opérations en date du 6 nov. 2019   | 7130                | 13 088              | 5986                | 103 157              |
| Nombre d'opérations en date du 13 févr. 2020 | 10 418              | 17 672              | 8104                | 104 291              |
| <i>Nombre moyen d'opérations par jour</i>    | <i>16,4</i>         | <i>22,9</i>         | <i>10,6</i>         | <i>10,1</i>          |
| Nombre d'opérations en date du 7 nov. 2019   | 18 742              | 26 092              | 12 552              | 107 502              |
| <i>Nombre moyen d'opérations par jour</i>    | <i>15,5</i>         | <i>15,7</i>         | <i>8,3</i>          | <i>11,3</i>          |

Tableau 6.8 : Analyse de l'usure des CPC

*Remarque :*

*Pour chaque opération de prise individuelle, le compteur de la commande Beckwith*

*La commande Beckwith à Bathurst-Ouest n'était pas branchée correctement pour surveiller le nombre d'opérations; par conséquent, on a utilisé le compteur à cadran du*

D'après l'analyse effectuée à la mi-février, puis de nouveau au début du mois de novembre, le nombre moyen d'opérations par jour à Elliot et à Bathurst Ouest était conforme aux prévisions. Les postes des rues Commercial et Priestman ont présenté des résultats légèrement plus élevés que ce que la Gestion des actifs observe habituellement, mais tout de même acceptables, car les deux transformateurs de puissance alimentent des sections de centres urbains, dont la charge commerciale importante varie tout au long de la journée.

## 6.9. Résultats obtenus au moyen de l'outil Validator de DVI

La suite logicielle **EDGE®** qui a servi au contrôle du SRT possède un outil intégré pour calculer les économies réalisées grâce au SRT, appelé **EDGE® Validator**. Cet outil a été utilisé comme méthode de rechange pour calculer les facteurs du SRT et les économies connexes. Le tableau ci-dessous présente un résumé par saison pour chaque poste.

Consulter l'annexe E - EDGE Validator pour obtenir une description plus détaillée de la méthodologie **EDGE® Validator** utilisée pour calculer les résultats.

### Winter Season

| Node          | Period        | # Pairs | CVR Factor | $\sigma$ | 95% Confidence | Savings |
|---------------|---------------|---------|------------|----------|----------------|---------|
| Bathurst West | 11/29 - 03/13 | 131     | 0.55       | 0.44     | 0.47-0.62      | 2.83%   |
| Commercial St | 11/29 - 03/13 | 138     | 0.3        | 0.53     | 0.22-0.39      | 1.66%   |
| Elliot Rd     | 11/29 - 03/13 | 356     | 0.5        | 0.73     | 0.43-0.58      | 1.67%   |
| Priestman St  | 11/29 - 03/13 | 330     | 0.44       | 0.55     | 0.38-0.5       | 1.99%   |

### Spring Season

| Node          | Period        | # Pairs | CVR Factor | $\sigma$ | 95% Confidence | Savings |
|---------------|---------------|---------|------------|----------|----------------|---------|
| Bathurst West | 03/16 - 05/31 | 310     | 0.28       | 0.52     | 0.22-0.33      | 1.44%   |
| Commercial St | 03/16 - 05/31 | 122     | 0.3        | 0.13     | 0.28-0.32      | 1.59%   |
| Elliot Rd     | 03/16 - 05/31 | 137     | 0.06*      | 0.15     | 0.03-0.08      | N/A*    |
| Priestman St  | 03/16 - 05/31 | 130     | 0.43       | 0.58     | 0.33-0.53      | 1.97%   |

\*Results for Elliot Road inconclusive.

### Summer Season

| Node           | Period        | # Pairs | CVR Factor | $\sigma$ | 95% Confidence | Savings |
|----------------|---------------|---------|------------|----------|----------------|---------|
| Bathurst West  | 06/01 - 08/30 | 161     | 0.58       | 0.12     | 0.56-0.6       | 3.15%   |
| Commercial St  | 06/01 - 08/30 | 139     | 0.53       | 0.14     | 0.51-0.55      | 2.90%   |
| Elliot Rd      | 06/01 - 08/30 | 207     | 0.53       | 0.42     | 0.48-0.59      | 2.45%   |
| Priestman St** | 07/28 - 08/30 | 101     | 0.48       | 0.51     | 0.37-0.58      | 2.10%   |

\*\*CVR was disabled at Priestman St for part of the summer season.

### Fall Season

| Node             | Period        | # Pairs | CVR Factor | $\sigma$ | 95% Confidence | Savings |
|------------------|---------------|---------|------------|----------|----------------|---------|
| Bathurst West    | 09/01 - 11/30 | 301     | 0.54       | 0.44     | 0.49 - 0.59    | 3.03%   |
| Commercial St*** | 09/01 - 11/30 | N/A     | N/A        | N/A      | N/A            | N/A     |
| Elliot Rd        | 09/01 - 11/30 | 364     | 0.49       | 0.56     | 0.43 - 0.55    | 2.49%   |
| Priestman St     | 09/01 - 11/30 | 144     | 0.7        | 0.52     | 0.62 - 0.79    | 3.41%   |

\*\*\*Commercial St was offline for maintenance.

Tableau 6.9 : Résultats du SRT obtenus au moyen du Edge Validator

## 6.10. Comparaison des transformateurs des postes adjacents

Énergie NB a utilisé une méthode de comparaison des « postes adjacents » comme autre moyen d'estimer les économies réalisées grâce au SRT dans le cadre du projet pilote. Pour cette méthode, on a choisi des postes voisins, dont la composition de la charge et la taille sont semblables à celles des postes du SRT. Les postes adjacents choisis sont situés géographiquement à proximité du poste du SRT auquel ils sont associés afin de minimiser les effets des conditions météorologiques variables sur l'analyse des données.

| Poste du SRT        | Poste adjacent      | Distance |
|---------------------|---------------------|----------|
| Bathurst-Ouest T002 | Bathurst-Ouest T001 | 0,1 km   |
| Rue Commercial T001 | Rue Church T002     | 1,7 km   |
| Chemin Elliot T001  | Westfield T001      | 26 km    |
| Rue Priestman T002  | Priestman T001      | 0,1 km   |

Tableau 6.10 : Liste des postes adjacents

Pour cette analyse, on a utilisé les données moyennes de kW et de tension sur 15 minutes provenant des compteurs du poste ION. Un rapport entre la charge quotidienne moyenne du poste du SRT et la charge quotidienne moyenne du poste adjacent a été calculé pour les jours de marche du SRT et les jours d'arrêt du SRT :

$$R_{\text{SRT EN MARCHE}} = [\text{kW}_{\text{moy. du poste du SRT}} / \text{kW}_{\text{moy. du poste adjacent}}](\text{JOURS DE MARCHE})$$

$$R_{\text{SRT ARRÊTÉ}} = [\text{kW}_{\text{moy. du poste du SRT}} / \text{kW}_{\text{moy. du poste adjacent}}](\text{JOURS D'ARRÊT})$$

Ces rapports SRT en marche et SRT arrêté ont servi à calculer une valeur prévue de la charge du poste du SRT, si le SRT n'avait pas été en marche pendant les jours de marche du SRT ( $\text{kW}_{\text{moy. prévu du poste du SRT}}$ ). Ces données ont ensuite été utilisées pour calculer le facteur du SRT et les économies connexes.

$$\text{kW}_{\text{moy. prévu du poste du SRT (JOURS DE MARCHE)}} = \text{kW}_{\text{moy. du poste du SRT (JOURS DE MARCHE)}} \times R_{\text{moy. SRT ARRÊTÉ}} / R_{\text{moy. SRT EN MARCHE}}$$

$$\Delta \text{kW}_{\text{moy.}} = [\text{kW}_{\text{moy. prévu du poste du SRT}} - \text{kW}_{\text{moy. du poste du SRT}}](\text{JOURS DE MARCHE})$$

$$\Delta \text{Tension}_{\text{moy.}} = \text{Tension}_{\text{moy. du poste du SRT (JOURS D'ARRÊT)}} - \text{Tension}_{\text{moy. du poste du SRT (JOURS DE MARCHE)}}$$

Le graphique suivant montre les rapports de charge entre le poste du SRT et le poste adjacent pour les jours de marche et d'arrêt du SRT pendant la saison estivale au poste de la rue Commercial. La zone entre ces deux courbes représente les économies moyennes réalisées grâce au SRT. Les deux courbes se croisent à quelques endroits en raison de la variabilité de la charge aux deux postes, mais en général, le rapport jour d'arrêt du SRT est supérieur au rapport jour de marche du SRT.

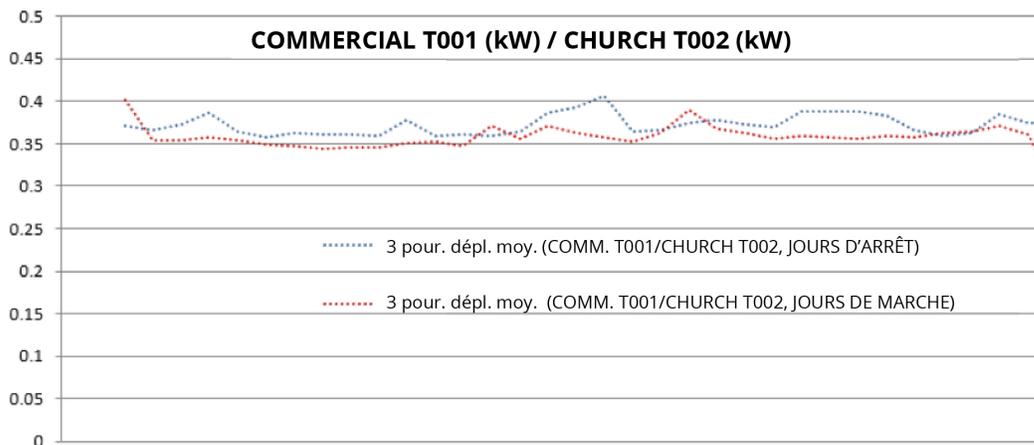


Figure 6.5 : Rapports des jours de marche et d'arrêt du poste de la rue Commercial et du poste adjacent

Seules les données des jours complets de marche et d'arrêt du SRT ont été utilisées dans cette analyse. Les données des jours où l'état du SRT a changé au milieu de la journée et les autres données anormales ont été écartées. Un nombre semblable de jours de marche et d'arrêt du SRT a été utilisé, et des jours de marche et d'arrêt du SRT adjacents ont été choisis autant que possible pour réduire au minimum les effets des différences de température au fil du temps.

Les facteurs du SRT calculés à l'aide de la méthode de comparaison des postes adjacents sont indiqués ci-dessous. En raison de la nature variable de la charge aux deux postes de comparaison et de la méthode de calcul plus élémentaire utilisée, les résultats ci-dessous sont moins fiables que ceux obtenus à l'aide de méthodes d'analyse statistique plus rigoureuses dans d'autres sections du présent rapport.

Bathurst-Ouest :

|  | Hiver | Printemps | Été    | Automne |
|--|-------|-----------|--------|---------|
| <b>Réduction moyenne de la tension</b> | 4,9 % | 5,3 %     | 5,3 %  | 5,5 %   |
| <b>Facteur du SRT moyen</b>            | 0,3   | 0,44      | 0,56   | 0,33    |
| <b>Diminution moyenne de la charge</b> | 1,5 % | 2,4 %     | 3,02 % | 1,86 %  |

Rue Commercial :

|  | Hiver | Printemps | Été   | Automne |
|--|-------|-----------|-------|---------|
| <b>Réduction moyenne de la tension</b> | 4,9 % | 5,4 %     | 5,1 % | S.O.    |
| <b>Facteur du SRT moyen</b>            | 0,45  | 0,53      | 0,64  | S.O.    |
| <b>Diminution moyenne de la charge</b> | 2,3 % | 2,9 %     | 3,4 % | S.O.    |

Chemin Elliot :

|  | Hiver | Printemps | Été    | Automne |
|--|-------|-----------|--------|---------|
| <b>Réduction moyenne de la tension</b> | 3,4 % | 4,8 %     | 5,3 %  | 5,2 %   |
| <b>Facteur du SRT moyen</b>            | 0,4   | 0,34      | 0,55   | 0,46    |
| <b>Diminution moyenne de la charge</b> | 1,4 % | 1,7 %     | 3,01 % | 2,43 %  |

Rue Priestman :

|  | Hiver  | Printemps | Été   | Automne |
|--|--------|-----------|-------|---------|
| <b>Réduction moyenne de la tension</b> | 4,2 %  | 4,5 %     | 4,5 % | 4,8 %   |
| <b>Facteur du SRT moyen</b>            | 0,42   | 0,6       | 0,53  | 0,32    |
| <b>Diminution moyenne de la charge</b> | 1,81 % | 2,77 %    | 2,4 % | 1,56 %  |

Tableau 6.11 : Facteurs du SRT de comparaison des postes adjacents

## 6.11. Comparaison des facteurs du SRT

Cette section présente une comparaison des facteurs du SRT et des économies d'énergie calculées par les différentes méthodes décrites dans le présent rapport. En raison de la variabilité de la charge des postes et du faible effet du SRT sur la charge, il est difficile de calculer un facteur du SRT exact et les économies d'énergie correspondantes. Les résultats des méthodes de régression linéaire du CNRC sont ceux qui offrent le plus haut degré de confiance. Les résultats obtenus avec les autres méthodes de calcul ne sont présentés qu'à titre de comparaison.

D'après les résultats, les mois d'été où la charge est plus faible donnent un facteur du SRT plus élevé que les mois les plus froids et à forte charge. Cela s'explique principalement par le pourcentage élevé de chauffage par plinthes à commande thermostatique dans la province en hiver. Plus la charge totale est constituée de ce type de chauffage, plus la baisse immédiate de la charge attribuable à la réponse à la demande est importante; cependant, la diversité de charge est rapidement rétablie et la même énergie totale est requise pour ces charges puisque les points de consigne des thermostats n'ont pas changé. Les appareils de chauffage fonctionneront plus longtemps pour compenser la baisse de la puissance thermique attribuable à la baisse de tension, et l'énergie globale utilisée pour chauffer le bâtiment est la même, que le SRT soit activé ou non. Par conséquent, les mois dont la composition de la charge comprend un pourcentage plus faible de charges de chauffage à commande thermostatique donnent des facteurs du SRT plus élevés.

| HIVER    | Edge Validator |           | Méthode de la moyenne du CNRC |           | Régression linéaire du CNRC (tension comme variable indépendante) |           | Régression linéaire du CNRC (tension et phase de santé comme variables indépendantes) |           | Comparaison des postes adjacents d'Énergie NB |           |
|----------|----------------|-----------|-------------------------------|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|
|          | Facteur du     | Économies | Facteur du                    | Économies | Facteur du  | Économies | Facteur du  | Économies | Facteur du                                    | Économies |
| B-O      | 0,55           | 2,83 %    | 0,52                          | 2,53 %    | 0,47  | 2,31 %    | 0,47  | 2,31 %    | 0,3   | 1,50 %    |
| Commerc  | 0,30           | 1,66 %    | 0,5                           | 2,56 %    | 0,48  | 2,47 %    | 0,48  | 2,47 %    | 0,45  | 2,30 %    |
| Elliot   | 0,50           | 1,67 %    | 0,53                          | 1,78 %    | 0,78  | 2,65 %    | 0,78  | 2,65 %    | 0,4   | 1,40 %    |
| Priestma | 0,44           | 1,99 %    | 0,56                          | 2,45 %    | 0,57  | 2,49 %    | 0,57  | 2,49 %    | 0,42  | 1,81 %    |

| PRINTEMPS | Edge Validator |           | Méthode de la moyenne du CNRC |           | Régression linéaire du CNRC (tension comme variable indépendante) |           | Régression linéaire du CNRC (tension et phase de santé comme variables indépendantes) |           | Comparaison des postes adjacents d'Énergie NB |           |
|-----------|----------------|-----------|-------------------------------|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|
|           | Facteur du     | Économies | Facteur du                    | Économies | Facteur du  | Économies | Facteur du  | Économies | Facteur du                                    | Économies |
| B-O       | 0,28           | 2,83 %    | 0,32                          | 2,53 %    | 0,5   | 2,31 %    | 0,46  | 2,31 %    | 0,44  | 1,50 %    |
| Commerc   | 0,30           | 1,66 %    | 0,83                          | 2,56 %    | 0,58  | 2,47 %    | 0,52  | 2,47 %    | 0,53  | 2,30 %    |
| Elliot    | 0,06           | 1,67 %    | 0,29                          | 1,78 %    | 0,73  | 2,65 %    | 0,58  | 2,65 %    | 0,34  | 1,40 %    |
| Priestma  | 0,43           | 1,99 %    | 0,6                           | 2,45 %    | 0,92  | 2,49 %    | 0,75  | 2,49 %    | 0,6   | 1,81 %    |

| ÉTÉ      | Edge Validator |           | Méthode de la moyenne du CNRC |           | Régression linéaire du CNRC (tension comme variable indépendante) |           | Régression linéaire du CNRC (tension et phase de santé comme variables indépendantes) |           | Comparaison des postes adjacents d'Énergie NB |           |
|----------|----------------|-----------|-------------------------------|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|
|          | Facteur du     | Économies | Facteur du                    | Économies | Facteur du  | Économies | Facteur du  | Économies | Facteur du                                    | Économies |
| B-O      | 0,58           | 3,15 %    | 0,77                          | 3,99 %    | 0,77  | 3,99 %    | 0,7   | 3,66 %    | 0,56  | 3,02 %    |
| Commerc  | 0,53           | 2,90 %    | 0,96                          | 5,23 %    | 0,89  | 4,84 %    | 0,74  | 4,03 %    | 0,64  | 3,40 %    |
| Elliot   | 0,53           | 2,45 %    | 0,46                          | 2,60 %    | 0,94  | 5,28 %    | 0,79  | 4,44 %    | 0,55  | 3,01 %    |
| Priestma | 0,48           | 2,10 %    | 0,47                          | 2,09 %    | 0,97  | 4,33 %    | 0,78  | 3,49 %    | 0,53  | 2,40 %    |

| AUTOMNE  | Edge Validator |           | Méthode de la moyenne du CNRC |           | Régression linéaire du CNRC (tension comme variable indépendante) |           | Régression linéaire du CNRC (tension et phase de santé comme variables indépendantes) |           | Comparaison des postes adjacents d'Énergie NB |           |
|----------|----------------|-----------|-------------------------------|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|
|          | Facteur du     | Économies | Facteur du                    | Économies | Facteur du  | Économies | Facteur du  | Économies | Facteur du                                    | Économies |
| B-O      | 0,54           | 3,03 %    | 0,69                          | 3,83 %    | 0,69  | 3,83 %    | 0,52  | 2,84 %    | 0,33  | 1,86 %    |
| Commerc  | S.O.           | S.O.      | S.O.                          | S.O.      | S.O.  | S.O.      | S.O.  | S.O.      | S.O.  | S.O.      |
| Elliot   | 0,49           | 2,49 %    | 0,78                          | 4,02 %    | 0,82  | 3,84 %    | 0,63  | 3,22 %    | 0,46  | 2,43 %    |
| Priestma | 0,70           | 3,41 %    | 0,9                           | 5,28 %    | 0,82  | 3,84 %    | 0,7   | 3,28 %    | 0,32  | 1,56 %    |

Tableau 6.12 : Comparaison des méthodes de calcul liées au SRT

Consulter l'annexe F – Graphiques de comparaison du facteur du SRT selon la saison pour obtenir une représentation graphique des différentes méthodes indiquées dans le présent rapport.

## 7. Leçons retenues

Les leçons retenues à l'issue du projet ont été classées en trois catégories : générales, clients et techniques. L'équipe de projet a tiré de nombreuses leçons sur ce qu'elle pourrait faire différemment si elle devait recommencer ce type de projet pilote. La présente section porte davantage sur les leçons retenues qui s'appliquent à Énergie NB dans le cadre d'un déploiement plus vaste du SRT au Nouveau-Brunswick. Il convient également de noter que l'approche consistant à alterner les jours de marche et d'arrêt du SRT utilisée pour ce projet pilote a présenté des défis qui ne se répercuteraient pas sur un déploiement plus large où le SRT fonctionnerait quotidiennement.

### 7.1. Générales

Les leçons générales retenues du projet sont les suivantes :

- Le SRT a fonctionné – reconnaissant que le SRT n'est pas un concept nouveau, la solution basée sur l'IMA mise en œuvre dans le cadre de ce projet pilote a permis de passer à une tension plus faible les jours de marche du SRT, et ce, sans nuire à la qualité du client ou du niveau de service. Les économies liées à la réduction de la tension énergétique varient selon les saisons, comme prévu.
- Les conclusions du CNRC appuient l'analyse de rentabilisation d'Énergie NB pour un déploiement plus vaste. Les résultats déterminés par l'analyse du CNRC (sections 6.1 à 6,6) montrent que les économies d'énergie calculées en fonction de la tension annuelle moyenne dans le cadre de ce projet appuient les projections coûts-avantages du SRT présentées par Énergie NB dans le cadre de son analyse de rentabilisation de l'IMA approuvée par la Commission de l'énergie et des services publics. Le fait que les économies d'énergie liées à la tension du SRT soient

déterminées par un partenaire de recherche tiers impartial et respecté tel que le CNRC ajoute de la crédibilité aux résultats du projet pilote du service public.

- Faire participer les responsables des comptes clients – Chez Énergie NB, la communication avec les clients commerciaux se fait principalement par l’entremise des responsables des comptes clés (RCC) commerciaux. Il était essentiel pour le recrutement commercial dans le cadre du projet pilote de veiller à ce que le RCC soit informé du calendrier du projet, du fonctionnement du SRT et des répercussions sur le client. Le RCC peut jouer un rôle important dans l’éducation et la sensibilisation des clients, ainsi que dans leur adhésion, alors qu’Énergie NB jette les bases pour une mise en œuvre élargie du SRT.

## 7.2. Clients

Les leçons retenues concernant les clients sont les suivantes :

- Acceptation par le client résidentiel de l’installation du compteur intelligent de l’IMA. Les clients résidentiels sélectionnés pour recevoir une nouvelle IMA ont été informés par le biais d’une campagne téléphonique et d’envoi de courriels que leur compteur existant devait être remplacé par un compteur intelligent de l’IMA dans le cadre du projet de recherche pilote sur le SRT. Le client avait la possibilité de se retirer et de ne pas recevoir le compteur intelligent. Grâce à cette campagne, le taux de refus des clients résidentiels de recevoir le compteur intelligent de l’IMA a été inférieur à 1 %. Le recrutement des clients commerciaux s’est fait par l’intermédiaire des responsables des comptes clés.
- Les clients veulent avoir accès aux données des compteurs. Les clients résidentiels et commerciaux ont présenté de nombreuses demandes d’accès aux données de leurs compteurs intelligents. Les clients commerciaux, en particulier, espéraient pouvoir accéder aux données de leurs compteurs intelligents. Offrir cette capacité ne faisait pas partie de la portée de ce projet. Des documents de communication clairs (foire aux questions, site Web, fiches d’information à l’intention des clients, etc.) sont des outils importants pour aider à gérer les attentes des clients qui participent à un déploiement plus vaste du SRT. Bien que ne faisant pas partie de ce projet, l’accès des clients aux données des compteurs intelligents fait partie des fonctionnalités qui seront offertes dans le cadre du projet d’IMA d’Énergie NB en cours.
- Analyse des valeurs aberrantes de tension. Avant d’activer le SRT, des données sur l’IMA ont été recueillies pendant deux semaines. Ces données ont été analysées pour déterminer les valeurs aberrantes de tension. On a découvert des problèmes de haute et de basse tension, résultant d’équipement défectueux et de constructions ne

répondant pas aux normes. Il est important de résoudre les problèmes de basse tension afin d'éliminer les contraintes sur le SRT et la capacité à abaisser la tension. Il est certainement utile de réaliser cet exercice dans la perspective d'un déploiement plus vaste du SRT. L'IMA fournira au personnel du génie une visibilité à l'échelle du client qu'il n'avait pas dans le passé et permettra de découvrir et de résoudre les problèmes de ce genre, ce qui se traduira par un programme du SRT ayant une incidence plus marquée.

- Communication et sensibilisation efficaces. Étant donné qu'Énergie NB prévoit un déploiement plus vaste du SRT, des stratégies de communication devront être élaborées pour soutenir cette initiative. Il sera essentiel de veiller à ce que tous les clients et entrepreneurs en électricité concernés par le SRT soient informés et comprennent bien la portée du projet. Une plus grande présence des compteurs de l'IMA offrira au personnel d'Énergie NB une visibilité accrue et aidera à faire en sorte que les tensions aux entrées de service demeurent dans les limites acceptables. La stratégie des jours de marche et d'arrêt du SRT ne sera pas nécessaire, ce qui rendra le programme beaucoup plus tolérable et transparent pour le client.

### 7.3. Techniques

- Maximiser les jours de marche du SRT : Si les données du compteur étaient manquantes pour certaines périodes d'un jour du SRT de 24 heures (c.-à-d. de 4 h à 3 h 59 le lendemain), ce jour était exclu de l'analyse des économies réalisées grâce au SRT. Si la tension n'était pas maintenue pendant les 24 heures complètes pour les jours de marche du SRT, ces jours étaient exclus du modèle de régression de l'état du SRT, mais étaient inclus dans le modèle de régression de la tension du jeu de barres omnibus.
- La transition initiale de 125V à 118V le jour de marche du SRT peut être trop agressive. Selon le type de clients desservis par le poste de distribution et les niveaux de charge à certaines périodes de l'année, le service d'ingénierie de la distribution d'Énergie NB peut recommander une réduction moins agressive de la tension.

Bien que la stratégie consistant à alterner les jours de marche et d'arrêt du SRT ait été essentielle à l'analyse des données et à la quantification de l'efficacité du programme, cette stratégie a donné lieu à des plaintes de la part des clients. La transition en alternance de 125 V à 118 V a eu des effets perturbateurs pour quelques clients possédant de l'équipement sensible. Le dysfonctionnement s'est produit lorsque l'équipement était régulièrement exposé aux limites supérieure et inférieure de la plage de tension acceptable, précisée par la norme CSA sur la tension

à l'entrée de service. Le personnel d'Énergie NB a donc dû s'attaquer rapidement à ces problèmes.

Les clients plus importants peuvent être plus sensibles à la basse tension et peuvent avoir besoin d'une prise occasionnelle au niveau de leur transformateur monté sur poteau ou sur socle.

- La stratégie de mise en marche et d'arrêt du SRT n'a entraîné aucune usure supplémentaire importante des changeurs de prises en charge (se reporter à la section 6.8).
- Dans certains cas, dans des conditions de charge plus faibles (la nuit), les effets du SRT, et la réduction connexe de la tension, ainsi que la réduction de la puissance réactive requise par la charge ont entraîné une diminution du facteur de puissance (se reporter à la section 6.6 Réduction des besoins en puissance réactive grâce au SRT).
- Les essais relatifs à la réponse à la demande ont été effectués dans le cadre du projet de recherche avec un échantillon limité. Les résultats ont montré une diminution de la demande de 3,8 % à 9,4 % qui a duré de 12 à 49 minutes avant de revenir aux valeurs antérieures à la réponse à la demande, selon la courbe de la demande (se reporter à la section 6.7).

## 8. Prochaines étapes du SRT

### 8.1. Feuille de route du SRT

La mise en œuvre d'un système de réduction de la tension (SRT) à l'échelle de l'entreprise chez Énergie NB est une solution complexe en matière d'ingénierie, de logiciels et de communications.

Énergie NB a plusieurs projets, en cours et à venir à l'automne 2020, qui, individuellement, fourniront des composantes du réseau du SRT prévu.

Les projets particuliers qui contribuent à la solution globale du SRT sont les suivants :

- Infrastructure de mesure avancée (IMA) (en cours)
- Système avancé de gestion de la distribution (ADMS) (en cours)
- Distribution SCADA (DSCADA) (en cours)
- Réseau de communications numérique (RCN/COMMUNICATIONS) (en cours)
- Mise en œuvre de la technologie du système de réduction de la tension (prévue pour l'exercice 2023)

- Mise en œuvre du processus du système de réduction de la tension (prévue pour l'exercice 2024)

La présente feuille de route du SRT vise à décrire comment la mise en œuvre du SRT à l'échelle de l'entreprise peut être réalisée au Nouveau-Brunswick, en tenant compte des projets ci-dessus qui fournissent chacun une ou plusieurs composantes de la solution du SRT. La feuille de route du SRT donne un aperçu très général de la façon dont le SRT peut être mis en place. Des plans et des conceptions plus détaillés seront fournis dans le cadre des projets constitutifs indiqués sur la feuille de route. La figure 8.1 ci-dessous présente une visualisation graphique des relations entre les projets et du calendrier proposé pour leur réalisation.

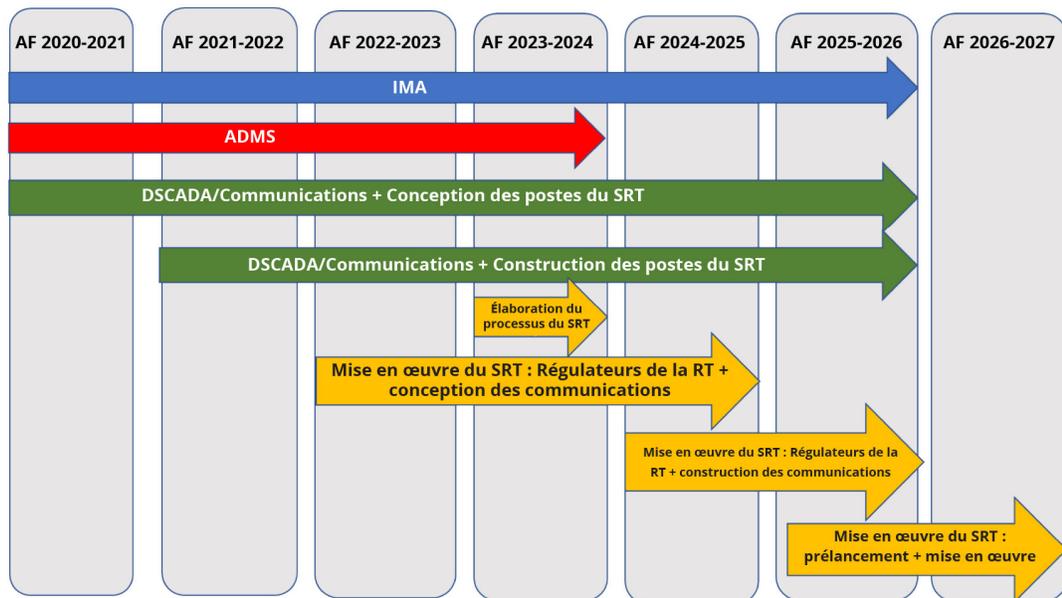


Figure 8.1 : Feuille de route et calendrier du SRT

Quatre (4) postes ont servi au projet pilote du SRT. Pour Énergie NB, la mise en œuvre du SRT à plus grande échelle suppose un déploiement dans environ soixante-dix (70+) postes situés à travers le Nouveau-Brunswick.

## 8.2. Comparaison des caractéristiques des postes du SRT

Dans le cadre d'une activité de suivi immédiat de ce projet, Énergie NB a demandé au CNRC d'étendre les résultats de l'expérience relative au SRT à certaines artères dans la province. Le CNRC effectuera une analyse afin d'extrapoler les avantages du SRT à plus de 70 postes ciblés pour la mise à l'échelle du SRT en effectuant une analyse de similitude basée sur les caractéristiques des quatre postes ayant servi au projet pilote du SRT. Les artères cibles dont les caractéristiques sont semblables à celles des artères de l'expérience relative au SRT se voient attribuer des avantages du SRT comparables. L'objectif est de fournir une analyse plus détaillée à l'aide des caractéristiques des postes et des artères afin d'appuyer les conclusions du projet

pilote du SRT et de déterminer les avantages prévus pour un déploiement plus large du SRT au Nouveau-Brunswick.

Les artères dans le cadre de l'expérience relative au SRT seraient considérées comme des artères modèles ou de référence. Les caractéristiques des artères cibles seront analysées à l'aide d'algorithmes d'agrégation statistique pour regrouper les artères semblables et ces groupes seront ensuite appariés aux artères de l'étude expérimentale du SRT. Les données de base nécessaires pour les 70 postes et plus ont été recueillies et fournies au CNRC. Cette analyse devrait être achevée au troisième trimestre de l'exercice 2022.

## 9. Conclusion

Énergie NB a modernisé quatre postes à Bathurst, à Fredericton, à Moncton et à Quispamsis en les dotant de CPC automatisés et a installé environ 700 compteurs intelligents dans les bâtiments résidentiels et commerciaux afin que la tension des clients puisse être surveillée et renvoyée au système de commande du SRT. En novembre 2019, l'expérience relative au SRT d'une durée d'un an a été lancée, le schéma de contrôle du SRT étant mis en marche et arrêté pour des périodes de 24 heures, un jour sur deux à 4 h.

L'une des questions clés de l'étude pilote était de savoir combien d'économies pouvaient être réalisées grâce au SRT dans les hivers froids du Nouveau-Brunswick, où le chauffage électrique est prédominant. Avant cette étude, Kinetrics inc. avait estimé une réduction annuelle moyenne de la tension de 2,5 % pour la province. L'expérience relative au SRT d'une durée d'un an a démontré une réduction moyenne de la tension de 5 % pour tous les postes, ainsi qu'une réduction correspondante de la consommation annuelle d'énergie active (kWh) de 3,4 %. La réduction de la tension moyenne pour chaque poste au cours de l'année est présentée à la Figure 9.1.

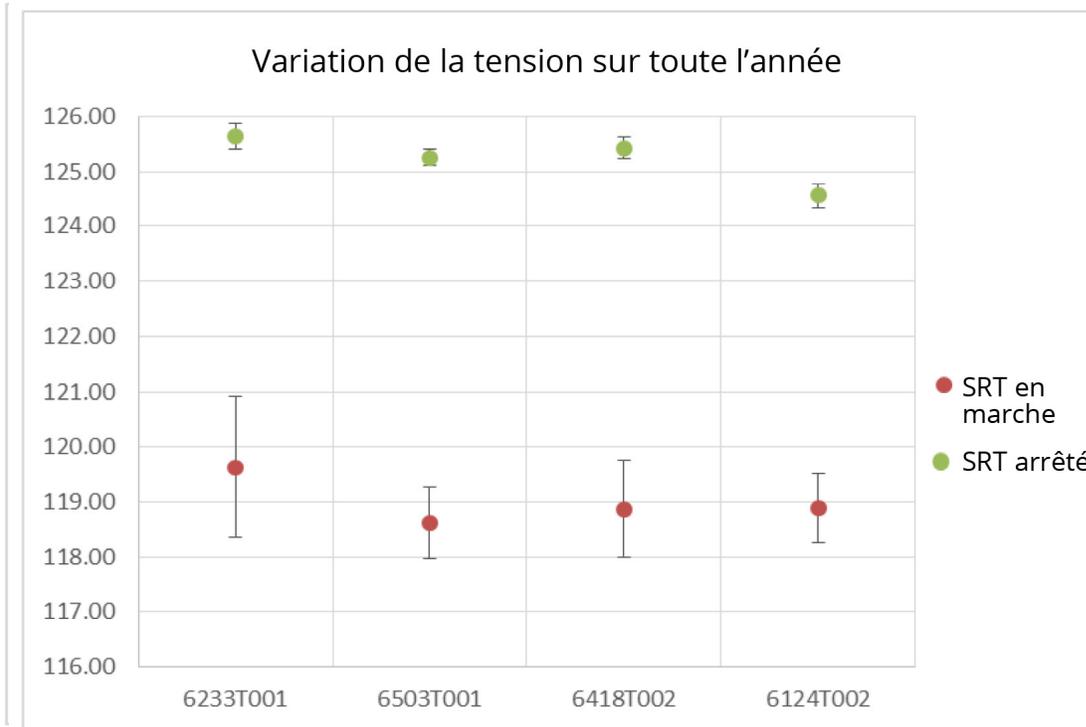


Figure 9.1 : Écart de tension pour les jours de marche et d'arrêt du SRT

Les économies réalisées grâce à l'expérience relative au SRT ont été estimées à l'aide de méthodes statistiques pour normaliser la température extérieure. Toutes les méthodes de régression linéaire multivariable ont débouché sur des économies semblables. Étant donné que le Nouveau-Brunswick est une province de pointe de consommation en hiver, où une grande partie des charges résidentielles et commerciales sont régulées par thermostat en raison du chauffage de l'eau et des locaux, le facteur du SRT observé, qui varie entre 0,50 (Moncton, Bathurst et Fredericton) et 0,80 (Quispamsis) pour l'hiver, est considéré comme très raisonnable. Comme prévu, le facteur du SRT s'est légèrement amélioré au printemps, lorsque les charges de chauffage ont chuté, et a connu une augmentation importante en été, alors que les charges de chauffage des locaux sont inexistantes. Le facteur du SRT pour l'été se situait entre 0,7 et 0,8 selon la méthode de régression (modèle 2) qui tenait également compte des phases de santé publique. Les facteurs du SRT pour le printemps et l'automne sont comparables, comme prévu, en raison des besoins de chauffage semblables.

Les résultats de l'analyse de régression doivent être interprétés dans l'espace observé des données. Par exemple, si au cours de l'expérience relative au SRT, la température extérieure a varié de -20 °C à 5 °C pendant l'hiver, alors les économies réalisées grâce au SRT peuvent être estimées de façon fiable dans cette plage de température.

La Figure 9.2 ci-dessous illustre le facteur du SRT annuel obtenu pour tous les postes en utilisant la méthode de la moyenne et deux variantes de la méthode de régression multivariable.

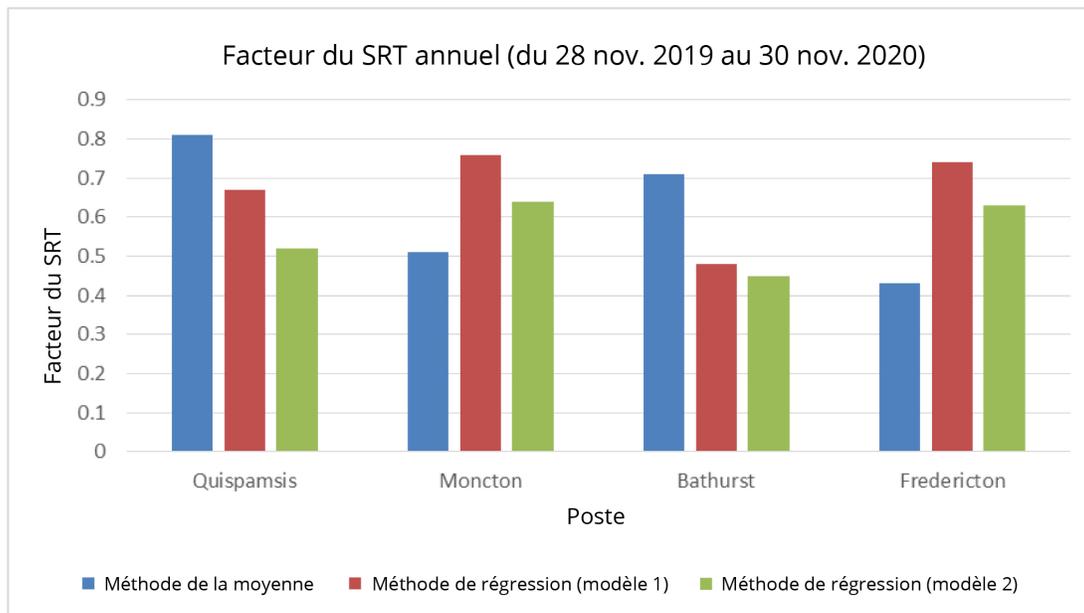


Figure 9.2 : Facteur du SRT annuel pour tous les postes

La mesure du SRT permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) grâce à la réduction de la consommation d'énergie. Le Tableau 9.1 présente le calcul des réductions des émissions de GES, d'abord en agrégeant les économies d'énergie annuelles totales à l'échelle du poste, puis pour l'ensemble de l'étude. Un facteur d'émission marginal de 275 tonnes/GWh est ensuite appliqué à l'ensemble des économies d'énergie pour estimer les réductions de GES.

| Paramètres   | Quispamsis | Moncton    | Bathurst | Fredericton | Étude pilote      |
|--|------------|------------|----------|-------------|-------------------|
|  | 6233T001   | 6503T001   | 6418T002 | 6124T002    | Agrégées          |
| kWh moyens (SRT arrêté)                              | 5 087,35   | 5 043,20   | 4 657,13 | 9 108,08    | 23 895,76         |
| kWh moyens (SRT en marche)                           | 4 924,70   | 4 840,23   | 4 540,76 | 8 801,87    | 23 107,56         |
| Delta kWh/h  | 162,65     | 202,97     | 116,37   | 306,21      |                   |
| Nombre de jours d'arrêt du SRT                       | 117        | 88         | 116      | 122         |                   |
| Nombre de jours de marche du SRT                     | 109        | 67         | 105      | 85          |                   |
| Économies d'énergie des jours de marche du SRT (kWh) | 425 485    | 326 371    | 293 264  | 624 659     | 1 669 779 kWh     |
| Économies d'énergie des jours de marche du SRT (GWh) |            |            |          |             | 1,67 GWh          |
| <b>Réduction des gaz à effet de serre</b>            |            |            |          |             | <b>459 tonnes</b> |
| facteur d'émission marginal                          | 275        | tonnes/GWh |          |             |                   |

Tableau 9.1 : Calcul des réductions des émissions de GES à l'aide de la méthode de régression (modèle 1)

La méthode de régression (modèle 1) estime les économies d'énergie à 1,67 GWh (3,4 %) sur les dix artères sur une période d'un an grâce à une réduction moyenne de 5 % de la tension, et la réduction connexe des émissions de gaz à effet de serre à 459 tonnes. Par contre, le modèle de régression 2, qui inclut les phases de santé des provinces, donne une estimation plus prudente avec 1,4 GWh d'économies et 386 tonnes de réduction de GES.

## Annexe A – Recrutement de clients pour le SRT

### Principes directeurs du recrutement des clients

Cette section décrit les directives suivies pour le recrutement des clients qui participeront à ce projet pilote. L'objectif global était de parvenir à une bonne répartition des compteurs intelligents entre les postes et les artères visés par le projet pilote.

Principes directeurs :

- Échange de compteurs comparables. Quatre modèles précis de compteurs intelligents ont été utilisés dans le cadre du projet pilote (2S, 12 S, 9 S, 16 S). Les clients qui possédaient un autre type de compteur n'étaient pas admissibles.
- Éviter les clients dont l'accès à la propriété ou aux compteurs pose problème.
- Éviter les clients qui ont déjà été débranchés par le passé.
- Éviter les clients dont les appels ont fait l'objet d'un processus de recours hiérarchique.
- Éviter les clients prioritaires (p. ex., l'utilisation d'oxygène à domicile).
- Aucune mesure incitative n'est offerte aux clients pour leur participation au projet pilote.
- Le client peut se retirer à tout moment pendant le projet pilote.

### Défis liés au recrutement des clients

Une stratégie de recrutement particulière a été élaborée pour les clients commerciaux et résidentiels.

**Résidentiel :** Les clients candidats ont été sélectionnés par Énergie NB afin d'assurer une bonne répartition sur l'artère du poste. Les clients ont été joints par téléphone pour les informer que leur compteur allait être remplacé et leur indiquer la date approximative du passage du service public dans la région. Des messages ont été laissés aux personnes qui n'ont pas répondu, leur communiquant le numéro à composer en cas de questions ou de préoccupations, ainsi que la possibilité de se retirer du projet pilote. Une carte d'information a été laissée au domicile du client au moment de l'installation du compteur, indiquant un numéro à composer en cas de questions ou de préoccupations.

**Commercial :** Les clients candidats ont été sélectionnés par Énergie NB afin d'assurer une bonne répartition sur l'artère. Les responsables des comptes clés (RCC) commerciaux d'Énergie NB ont été chargés d'examiner la liste afin de repérer les conflits potentiels en fonction des principes directeurs. Le RCC a rencontré le client pour lui expliquer l'objectif du projet pilote et obtenir l'autorisation d'installer le nouveau compteur intelligent. Des documents de communication ont été préparés afin que le RCC puisse les remettre au client. Le RCC était également le premier point de contact pour le client si celui-ci avait des questions pendant le projet pilote.

Tous les clients qui recevaient le compteur intelligent avaient la possibilité de se retirer à tout moment pendant le projet pilote. Dans le cadre de ce retrait, ils pouvaient demander que le compteur intelligent soit remplacé par le modèle qu'ils avaient auparavant.

**Défis :** Le principal défi, quel que soit le type de client, était de parvenir à une bonne répartition des compteurs intelligents sur les artères des postes.

- 1) Afin d'obtenir une bonne répartition le long de l'artère, nous avons été contraints d'attendre de voir si le client allait participer. Par exemple, sur une rue comptant 10 maisons, il est possible que nous ne cherchions qu'un ou deux clients plutôt que les 10. En principe, les 10 clients participeraient tous au projet pilote, car leur énergie est fournie par le même poste et la même artère, mais seules deux maisons seraient équipées d'un compteur intelligent.
- 2) Le remplacement par des compteurs comparables et un nombre limité de chaque type de compteur. Dans le cadre du projet pilote du SRT, nous avons déployé des compteurs monophasés (2S, 12 S) et polyphasés (9S, 16 S). Le compteur monophasé correspond normalement au secteur résidentiel et le compteur polyphasé au secteur commercial. Cette hypothèse ne s'est pas toujours avérée vraie, ce qui a rendu difficile la pleine utilisation de tous les types de compteurs. Comme nous devons passer une commande à l'avance, il a été difficile d'estimer le nombre de compteurs de chaque type que nous pouvions utiliser.
- 3) Le client sélectionné s'avère inadmissible une fois qu'Énergie NB est sur place (c.-à-d. problèmes d'accès, emplacement du compteur, complexité de l'installation, etc.).

## Suivi des clients et volumes d'appels

Dans le cadre du projet pilote du SRT, les communications avec les clients ont fait l'objet d'un suivi afin de savoir si les clients avaient des préoccupations au sujet de la réception d'un compteur intelligent (phase préalable au projet pilote) ou s'ils rencontraient des problèmes de tension (phase pilote). Le tableau suivant résume les appels reçus par le centre de service à la clientèle d'Énergie NB à diverses étapes du projet. Les communications lors de la phase préalable au projet pilote auraient été effectuées presque exclusivement auprès des clients résidentiels.

| Nom de la mesure liée à la communication | Total | Période                         | Définition   |
|--|-------|---------------------------------|--|
| SRT - Offre active                       | 412   | Pendant la phase de recrutement | Lorsque nous avons essayé de joindre un client, mais que nous n'avons pas réussi à lui parler. P. ex., nous avons laissé un message ou nous avons envoyé un courriel ou une lettre. Étant donné qu'ils ne se sont pas retirés, nous avons supposé qu'ils étaient d'accord pour participer. |
| SRT - Offre active acceptée              | 332   | Pendant la phase de recrutement | Lorsque nous avons parlé avec un client et que celui-ci a accepté de participer au projet.   |

|   |            |   |   |
|---|------------|---|---|
| SRT – Offre active refusée                              | 28         | Pendant la phase de recrutement                         | Lorsque nous avons parlé avec un client et que celui-ci a refusé de participer au projet.   |
| SRT – Demande de renseignement                          | 98         | Pendant toute la durée du projet pilote                 | Lorsque le client a appelé et que le conseiller qui a répondu à la demande a été en mesure de la traiter grâce aux réponses générales fournies dans la foire aux questions.   |
| SRT – Processus de recours hiérarchique                 | 27         | Pendant toute la durée du projet pilote                 | Lorsque le client a appelé et que le conseiller qui a répondu à la demande n'a pas été en mesure de la traiter avec les réponses générales fournies dans la foire aux questions, l'appel a été transféré au niveau 2. |
| SRT – Responsable de comptes Relations avec les clients | 40         | Après la phase de recrutement, pendant le projet pilote | Les responsables de comptes clés ont utilisé ce registre lorsqu'ils ont parlé à leurs clients pendant le projet pilote. Il peut s'agir d'un même client présentant plusieurs demandes de renseignements.              |
| <b>Total</b>  | <b>937</b> | Pendant toute la durée du projet pilote                 |   |

Figure A.1 : Résumé des appels reçus par le centre de service à la clientèle

Les principales raisons expliquant la communication dans le cas des 27 appels ayant fait l'objet d'un processus de recours hiérarchique lié au SRT peuvent être classées comme suit :

- Le client ne voulait pas que son compteur soit changé.
- Le client s'interrogeait sur la raison pour laquelle son compteur était désormais relevé manuellement, alors que le compteur précédent était relevé par radiofréquence.
- Une demande de renseignements supplémentaires au sujet du projet pilote.

En plus de faire le suivi des appels reçus par le centre d'appels, un rapport sur les artères du SRT a été produit à partir du système de gestion des pannes d'Énergie NB afin de saisir l'information sur tous les appels liés à une panne signalée par un client desservi par les postes ou les artères faisant partie du projet pilote du SRT. Ce rapport a été produit deux fois par semaine et nous a permis de surveiller de manière proactive tous les appels qui pourraient être liés à la tension et d'effectuer un suivi auprès des clients, au besoin.

## **Problèmes liés aux clients**

Bien que la stratégie consistant à alterner les jours de marche et d'arrêt du SRT ait été essentielle à l'analyse des données et à la quantification de l'efficacité du programme, cette stratégie a donné lieu à des plaintes de la part des clients. La transition en alternance de 125 V à 118 V a eu des effets perturbateurs pour les clients possédant de l'équipement sensible. Le dysfonctionnement s'est produit lorsque l'équipement était régulièrement exposé aux limites supérieure et inférieure de la plage de tension acceptable, précisée par la norme CSA sur la tension à l'entrée de service. Le personnel d'Énergie NB a donc dû s'attaquer rapidement à ces problèmes.

Au fur et à mesure qu'Énergie NB planifie un déploiement plus vaste du SRT, nous élaborerons des stratégies de communication pour soutenir cette initiative. Il sera essentiel de veiller à ce que tous les clients et entrepreneurs en électricité concernés par le SRT soient informés et comprennent clairement la portée du projet. Une plus grande présence des compteurs de l'IMA offrira au personnel d'Énergie NB une visibilité accrue et aidera à faire en sorte que les tensions aux entrées de service demeurent dans les limites acceptables. La stratégie des jours de marche et d'arrêt du SRT ne sera pas nécessaire, ce qui rendra le programme beaucoup plus tolérable et transparent pour le client. Selon le type de clients desservis par le poste de distribution et les niveaux de charge à certaines périodes de l'année, le service d'ingénierie du réseau de distribution d'Énergie NB peut recommander une réduction moins agressive de la tension.

## Annexe B – Renseignements supplémentaires sur le SRT lié à l'industrie

### Analyse du SRT liée à l'industrie portant sur le SRT à travers l'Amérique du Nord

Une partie importante de la collecte de renseignements sur les études relatives au système de réduction ou régulation de la tension (SRT) au Canada a consisté à prendre contact avec les principaux acteurs de trois grands services publics d'électricité canadiens qui ont terminé ou sont en voie de terminer leurs projets pilotes du SRT. Nous avons interrogé les chefs de projet de BC Hydro, d'Hydro Ottawa et d'Hydro-Québec, qui ont participé directement à la mise en œuvre de la régulation de la tension. De plus, nous avons recueilli des renseignements supplémentaires sur leurs projets pilotes et leurs expériences en communiquant avec eux par courrier électronique et en consultant leurs publications.

BC Hydro a commencé à réaliser des études sur le SRT au début des années 1990 et a lancé son premier projet pilote en 1995. Ces travaux ont ensuite été étendus pour inclure l'optimisation de la tension et de la puissance réactive (VVO) en temps réel et entièrement automatisée en boucle fermée, et ont été progressivement mis en œuvre dans la plupart de leurs postes (actuellement plus de 120 postes), ce qui a permis aux clients et au service public de réaliser des économies importantes. L'approche de BC Hydro se distingue par l'utilisation de la modélisation des postes, de la télémétrie SCADA, de logiciels prêts à l'emploi et de la mise en œuvre d'un système de gestion de la distribution (SGD) en 2014 (initialement dans six postes, et actuellement dans 40 postes avec VVO). Les données de référence du SRT ont été établies à partir de données provenant de postes voisins ayant une composition de charge semblable. Huit essais de 24 heures ont été effectués avec le SRT mis en marche et arrêté en alternance à intervalles d'une heure. Les économies réalisées grâce au SRT ont été estimées en fonction de la composition de la charge et du facteur du SRT. Le facteur du SRT a été évalué à environ 0,7 à plus long terme. Les leçons tirées de l'étude pilote étaient les suivantes : il faut analyser les tensions au début de l'étude et installer des compteurs intelligents (CI) aux points critiques pour surveiller les tensions; et la commande basée sur un point de consigne est meilleure que la commande de CPC directe. Étant donné qu'il n'y avait pas de disposition particulière pour la VVO dans le budget, l'approche adoptée a été de mettre en œuvre la VVO selon un calendrier normal de planification et de mise à niveau des actifs, dans la mesure du possible. Les clients résidentiels et commerciaux n'ont pas été expressément informés que leurs artères faisaient partie de l'étude pilote sur le SRT et la VVO de la Colombie-Britannique. Aucune préoccupation majeure n'a été soulevée par les clients commerciaux pendant la mise en œuvre du SRT. BC Hydro n'a pas effectué de sondage auprès des clients qui ont pris part à l'étude sur le SRT et la VVO. BC Hydro a non seulement pris en compte l'augmentation de l'efficacité de son réseau de distribution grâce aux mesures relatives au SRT et à la VVO, mais ses modèles ont également tenu compte de la réduction des pertes dans le réseau de transport.

Hydro-Québec a lancé son premier projet pilote du SRT en 2005, qui comprenait la régulation de la puissance réactive et qui a été mis en œuvre dans un certain nombre de postes. Pour évaluer l'incidence du SRT et de la VVO, Hydro-Québec a eu recours à une méthode combinée appelée «

CATVAR » (Contrôle asservi de la tension et des vars). Le système intelligent de surveillance et de régulation a maintenu la tension d'extrémité de ligne plus près des seuils inférieurs autorisés. La puissance réactive a été prise en charge par des batteries de condensateurs afin de réduire les pertes de puissance et mieux gérer les tensions le long des artères. Une économie d'énergie moyenne de 0,4 % pour chaque réduction de tension de 1 % a été rapportée. Le poste type choisi pour étudier l'incidence de la réduction de tension était situé dans une zone résidentielle, mais il présentait des charges résidentielles, commerciales et industrielles mixtes sur chaque artère. Dans le cadre du projet pilote d'Hydro-Québec, on a utilisé des transformateurs de mesure de haute précision. Les corrections de tension pour le SRT ont été appliquées au moyen d'un réglage automatique dans la sous-station, en changeant la prise du transformateur à minuit tous les jours. La tension a été maintenue à un niveau réduit pendant 24 heures (jours de marche), puis à un niveau normal pendant les 24 heures suivantes (jours d'arrêt), aux fins d'évaluation. Les résultats finaux du projet pilote d'Hydro-Québec devraient être publiés prochainement et comporter des détails relatifs à l'ensemble des saisons et des catégories de clients (résidentiels, commerciaux et industriels).

Le projet pilote du SRT d'Hydro Ottawa a commencé en 2015 et, à certains égards, il est toujours en cours. Il s'agit d'un projet conjoint avec Dominion Voltage Inc. (DVI) et, dans une moindre mesure, avec Elster Metering. Le projet est basé sur l'utilisation de compteurs intelligents et du logiciel de régulation de DVI. Le projet est financé par le Fonds d'économie de l'Ontario de la Société indépendante d'exploitation du réseau d'électricité (SIERE) dans le cadre du plan à long terme d'économie d'énergie de la SIERE. L'intérêt principal de la SIERE dans ce projet est l'évaluation des économies d'énergie et non la réduction de la demande d'électricité. Le projet est mis en œuvre au poste MTS d'Hydro Ottawa (HO) à Kanata, qui compte environ 6 000 clients, principalement résidentiels. Le SRT est mis en marche pendant huit jours consécutifs, puis arrêté pendant la même période en l'activant et le désactivant de façon manuelle. HO dirige le projet et recueille les données, tandis que la SIERE est responsable de l'analyse des données. Les clients n'ont pas été informés que leurs artères faisaient partie de l'étude du SRT et aucun sondage n'a été effectué. Il n'y a eu aucune plainte de la part des clients résidentiels, mais quelques problèmes avec les gros clients commerciaux – ces problèmes ont été immédiatement réglés. En rétrospective, il aurait été préférable d'utiliser une nouvelle génération de CI dotés d'une capacité d'alerte de creux de tension. Les valeurs aberrantes de tension auraient dû faire l'objet d'une analyse et être corrigées avant le début du projet, car elles limitaient la réduction de la tension au poste. De plus, le fait d'informer les gros clients et les comptes clés du poste du projet pilote du SRT aurait permis d'éviter quelques problèmes ultérieurs au cours du projet.

## **Aperçu et méthodologie du projet pilote du SRT**

Depuis quatre décennies, le SRT fait l'objet d'études de la part des services d'électricité et des organismes de réglementation aux États-Unis. Un grand nombre d'études pilotes visant à mettre à l'essai la technologie du SRT et à évaluer les économies réalisées ont été menées dans diverses régions géographiques. Au cours de la première décennie de mise en œuvre du SRT, la réduction de la tension du SRT a été obtenue au moyen de méthodes conventionnelles, notamment le changeur de prises en charge (CPC), la compensation de chute de tension dans les lignes et la réduction de la tension domestique. Le manque de visibilité des tensions à la périphérie des circuits de distribution, les actifs de distribution à commande manuelle et les questions de réglementation ont empêché

d'exploiter pleinement les avantages et de déployer le SRT à grande échelle. Avec l'émergence de l'infrastructure de mesure avancée (IMA), des technologies de réseau électrique intelligent et des changements apportés aux structures réglementaires dans certaines régions géographiques, le SRT est désormais évolutif et concurrentiel sur le plan des coûts par rapport aux autres sources d'énergie aux États-Unis.

Une évaluation du SRT à l'échelle nationale aux États-Unis a été réalisée en 2010 par le Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) dans le cadre d'un contrat avec le ministère de l'Énergie (DoE). Cette évaluation a révélé que le SRT pourrait permettre une réduction de la charge de pointe et une réduction de la consommation d'énergie annuelle d'environ 0,5 % à 4 % par artère ainsi qu'une réduction totale de 3,04 % de la consommation annuelle d'énergie à l'échelle nationale si le SRT était déployé sur toutes les artères de distribution.

Le National Energy Technology Laboratory (NETL) des États-Unis a parrainé une évaluation nationale du SRT en 2013-2014 afin de constituer un ensemble de connaissances sur les coûts, les avantages, les modèles de déploiement et les obstacles industriels liés au SRT. Leurs premières conclusions, publiées en 2015, indiquaient que la plupart des services publics américains en étaient encore à l'étape du projet pilote concernant l'exploration du potentiel du SRT. La moyenne des économies d'énergie et la réduction de la charge de pointe ont été respectivement de 1,9 % et de 2,5 % pour les 30 services publics qui ont communiqué des données relatives aux mesures de rendement du SRT. Lorsque les données sur les coûts étaient disponibles auprès des entreprises de services publics, le coût de réalisation des économies liées au SRT se comparait favorablement à d'autres options d'efficacité énergétique du côté de la demande, ainsi qu'à d'autres sources de production d'énergie, y compris les énergies renouvelables. Le rapport souligne la nécessité de mettre au point une méthode d'évaluation normalisée du SRT, car son absence rend difficile la comparaison des économies déclarées entre les différentes études pilotes.

Il indique également que les déploiements plus importants du SRT et de la VVO offrent de meilleures économies par coût unitaire. Les questions de réglementation et de modèle d'affaires des services publics compliquent également la voie à suivre pour le déploiement complet du SRT. Malgré son énorme potentiel, le SRT n'est pas considéré comme une ressource d'efficacité énergétique (EE), mais il devrait être classé comme tel afin de pouvoir être pris en compte dans les mesures d'économie d'énergie obligatoires. Les services publics assument le coût de la mise en œuvre du SRT, tandis que les clients en retirent des avantages sous la forme d'une réduction des coûts énergétiques. Les questions de réglementation liées au SRT sont traitées de différentes façons par les divers intervenants aux États-Unis. Les auteurs du rapport préconisent que les associations de services publics et les organismes de normalisation jouent un rôle essentiel dans la mise au point d'outils et de protocoles de planification et d'évaluation fiables.

Les leçons retenues ont montré que le déséquilibre de tension existant sur les artères pendant l'été limitait sérieusement la fonctionnalité de la VVO; que la nouvelle visibilité obtenue grâce aux relevés fréquents de la tension de l'IMA peut aider à éliminer les artères qui présentent des problèmes de basse tension ou de déséquilibre de tension; et que les relevés de tension aux 15 minutes ou aux heures des compteurs intelligents des clients aideront à sélectionner les artères pour la VVO.

## Annexe C – Renseignements supplémentaires sur l’analyse de régression linéaire multivariante

### Régression linéaire multivariante

La régression linéaire multivariante est utilisée pour modéliser la relation de plus d’une variable indépendante (variables explicatives) sur une variable dépendante (réponse). La régression multivariante décompose la demande en composantes de base et autres composantes dépendantes (p. ex., la demande dépend des variables indépendantes telles que le temps, la saison, le jour de la semaine, la fin de semaine, la tension, etc.). Les données relatives à la demande enregistrées aux postes et aux artères sont normalisées en fonction de la température en utilisant les variables degré-jours de chauffage (DJC) et degré-jours de refroidissement (DJR). Dans le cadre de ce projet, la méthode a été appliquée pour estimer les économies d’énergie de façon distincte pour chaque saison afin d’estimer la réduction de la consommation d’électricité pour les jours où le SRT est en marche, en fonction des relations présumées entre les températures extérieures, la tension et la demande d’électricité. Un modèle de régression multivariante distinct pour les économies réalisées grâce au SRT a été construit pour chaque poste et chaque artère.

La consommation totale d’énergie au cours d’une période de 24 heures a été modélisée comme une variable dépendante de 4 h à 3 h 59 le lendemain à chaque poste et artère avec les variables indépendantes suivantes :

- La tension moyenne pour la même période de 24 heures.
- Les degrés de chauffage pour le jour  $i$ ,  $DJCi$  (SI la température du thermomètre sec est inférieure à 18 °C, 18 °C – température du thermomètre sec, sinon 0).
- Les degrés de refroidissement pour le jour  $i$ ,  $DJRi$  (SI la température du thermomètre sec est supérieure à 18 °C, température du thermomètre sec – 18 °C, sinon 0); ne s’applique pas au printemps et à l’hiver.

La prédiction du flux d’énergie pour les jours où le SRT est en marche à partir du modèle de régression est comparée à celle des jours où le SRT est à l’arrêt afin d’estimer les économies réalisées grâce au SRT pour une température extérieure donnée. Il convient de souligner que les estimations d’économies réalisées grâce au SRT dépendent de la température extérieure.

Pour la période hivernale, nous avons créé les deux modèles de régression suivants, qui sont expliqués plus en détail dans les sous-sections suivantes :

- Le modèle de régression multivariante de l’état du SRT.
- Le modèle de régression multivariante de la tension du jeu de barres omnibus.

Les mesures de confinement prises par les provinces canadiennes au milieu du mois de mars 2020 en vue de ralentir la propagation du virus de la COVID-19 ont aussitôt réduit l’activité économique et modifié le profil de consommation d’électricité. L’incidence sur les profils de charge varie d’une

artère à l'autre en fonction de la composition de la charge résidentielle, commerciale et industrielle. En général, la demande résidentielle a augmenté pendant la journée, tandis que la demande commerciale et industrielle a diminué.

L'estimation des économies réalisées grâce au SRT a été rendue plus complexe par le fait que l'économie est demeurée dans un état de fluctuation, puisque l'activité économique affichait une tendance à la baisse lorsque la province imposait les restrictions et que les cas de COVID augmentaient, et vice versa lorsque le nombre de cas diminuait. Sachant que la consommation d'électricité est liée à l'activité économique, le modèle de régression multivariable du SRT a été élargi pour inclure les phases de santé provinciales comme variables explicatives de l'activité économique afin d'attribuer correctement les changements dans la consommation d'électricité attribuables à la réduction de la tension et non au ralentissement périodique de l'activité économique.

### **Modèle de régression multivariable de l'état du SRT**

Dans ce modèle, l'état du SRT est utilisé comme l'une des variables explicatives en plus des variables degré-jours de chauffage et degré-jours de refroidissement. La relation entre la variable dépendante du flux d'énergie quotidien et les variables indépendantes (variables explicatives) est exprimée par l'équation de régression suivante :

$$\text{Énergie\_quotidienne}_i = \beta_0 + \beta_1 [\text{ÉtatSRT}_i] + \beta_2 [\text{DJC}_i] + \beta_3 [\text{DJR}_i]$$

De même, la demande horaire est exprimée comme suit :

$$\text{Demande\_horaire}_i = \beta_0 + \beta_1 [\text{ÉtatSRT horaire}_i] + \beta_2 [\text{DC horaire}_i] + \beta_3 [\text{DR horaire}_i]$$

Les équations de régression ci-dessus sont résolues pour les coefficients de régression  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ . Le coefficient de régression  $\beta_1$  de l'équation de régression représente la dépendance de l'énergie ou de la demande par rapport à l'état du SRT pour la période de mesure.

Les modèles énergétiques de l'état quotidien du SRT ont été créés et résolus uniquement pour la saison hivernale.

### **Modèle de régression multivariable de la tension du jeu de barres omnibus**

Dans ce modèle, la tension du jeu des barres omnibus est utilisée comme variable explicative au lieu de l'état du SRT. La relation entre la variable dépendante du flux d'énergie quotidien et les variables indépendantes (variables explicatives) est exprimée par l'équation de régression suivante :

$$\text{Énergie\_quotidienne}_i = \beta_0 + \beta_1 [\text{Tension moy. quotidienne}_i] + \beta_2 [\text{DJC}_i] + \beta_3 [\text{DJR}_i]$$

$$\text{Demande\_horaire}_i = \beta_0 + \beta_1 [\text{Tension moy. horaire}_i] + \beta_2 [\text{DC horaire}_i] + \beta_3 [\text{DR horaire}_i]$$

L'équation de régression ci-dessus est résolue pour les coefficients de régression  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ . Le coefficient de régression  $\beta_1$  de l'équation de régression représente la dépendance de l'énergie ou de la demande par rapport à l'état du SRT pour la période de mesure.

### **Extension du modèle de régression multivariable de la tension du jeu de barres omnibus pour inclure les phases de santé publique liées à la COVID-19 comme variables indépendantes**

Les modèles de régression multivariable permettant d'estimer les économies réalisées grâce au SRT supposent une activité économique stable et les données historiques sont normalement utilisées pour établir la base de référence et pour prévoir la consommation d'électricité après avoir pris en compte les changements de température. Toutefois, nous n'avons pas été en mesure d'utiliser les données historiques antérieures à la COVID-19 comme base de référence, car huit mois et demi d'expérience se sont déroulés pendant la période de la COVID-19. Ce sont plutôt les données relatives aux jours d'arrêt du SRT qui ont été utilisées comme base de référence.

Le modèle de régression multivariable de la tension du jeu de barres omnibus a été étendu pour inclure les phases de santé publique (c.-à-d. rouge, orange, jaune) comme variables indépendantes pour tenir compte de l'activité économique correspondante et la modéliser afin d'estimer les économies saisonnières et annuelles. Ce schéma, qui consiste à mettre le SRT en marche et à l'arrêter un jour sur deux, à diviser le M et V en quatre segments et à utiliser une variable de mesures de santé publique, a été appliqué pour évaluer les économies réalisées grâce à la réduction de la tension pour la période de la COVID.

$$\text{Énergie}_{\text{quotidien}} = \beta_0 + \beta_1 [\text{Tension moy. quotidienne}] + \beta_2 [\text{DJC}] + \beta_3 [\text{DJR}] + \beta_4 [\text{Phase_santé}_{\text{rouge}}] + \beta_5 [\text{Phase_santé}_{\text{orange}}] + \beta_6 [\text{Phase_santé}_{\text{jaune}}]$$

## Annexe D – Données des essais relatifs à la réponse à la demande

Ces graphiques montrent l'effet d'une réduction de la tension du jeu de barres omnibus du poste sur le profil de charge de celui-ci pour chacun des quatre postes concernés par le projet pilote.

Données des essais quotidiens relatifs à la réponse à la demande :

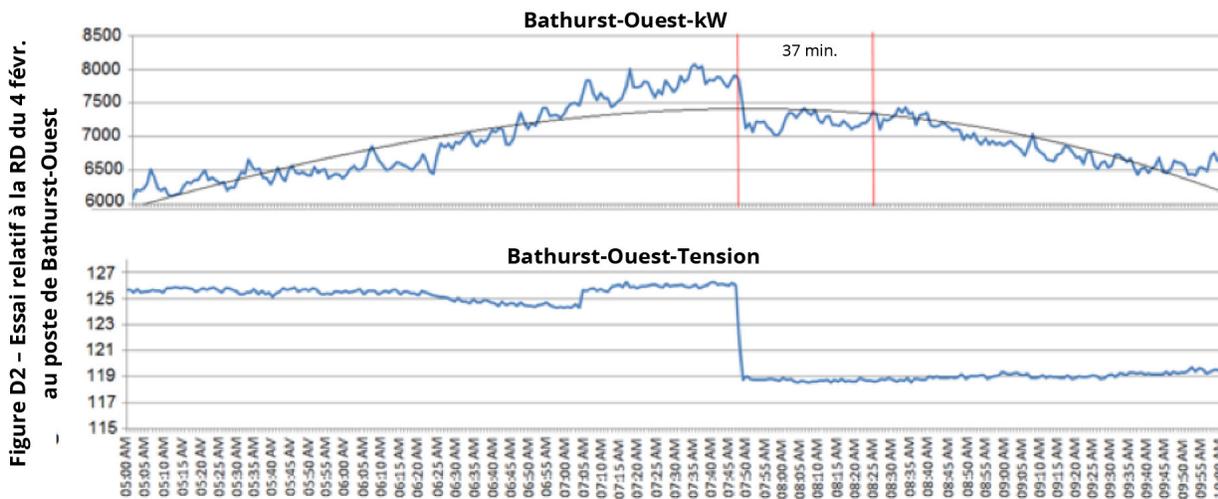
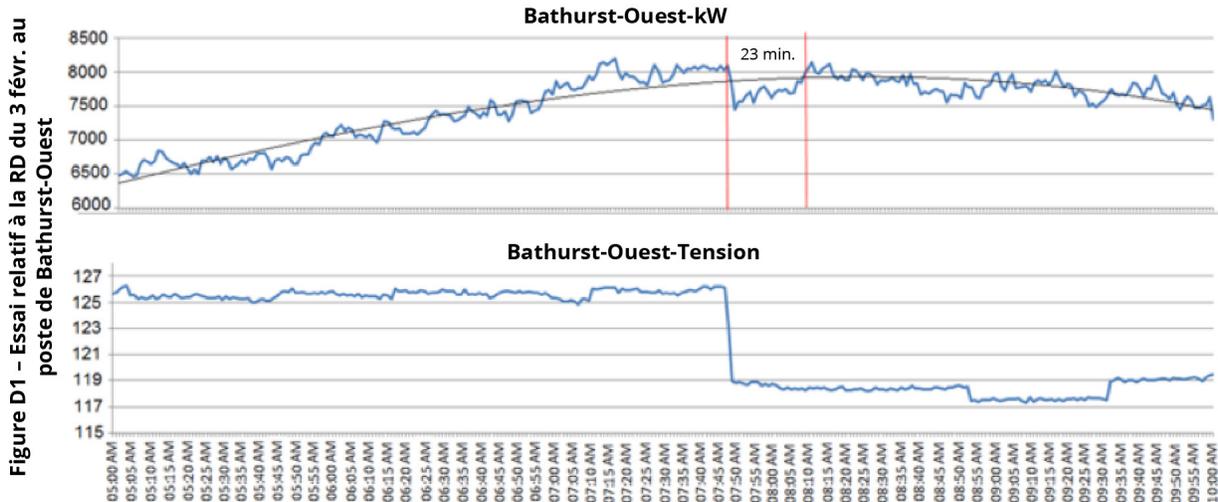


Figure D3 – Essai relatif à la RD du 5 févr. au poste de Bathurst-Ouest

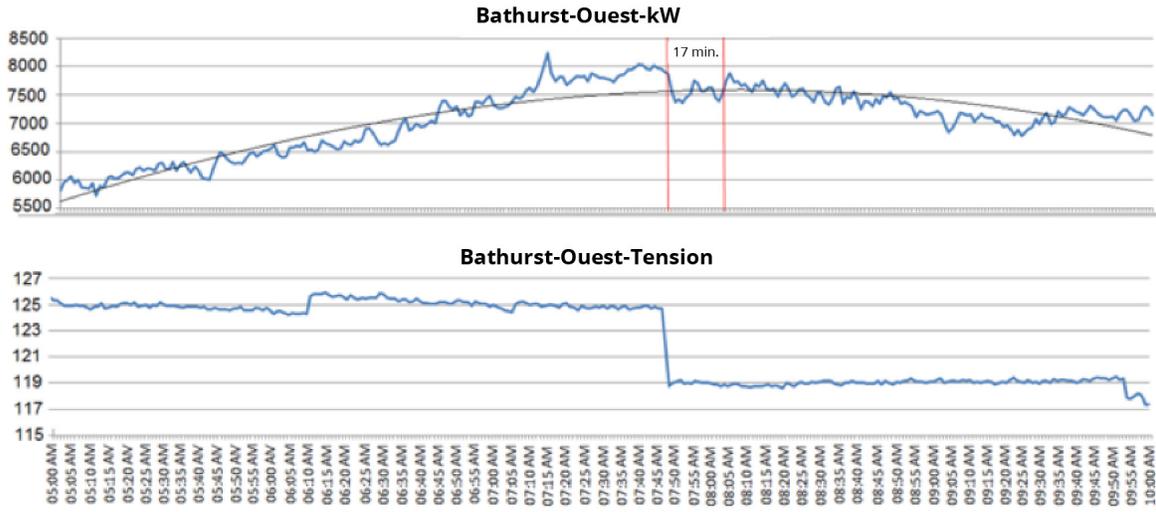
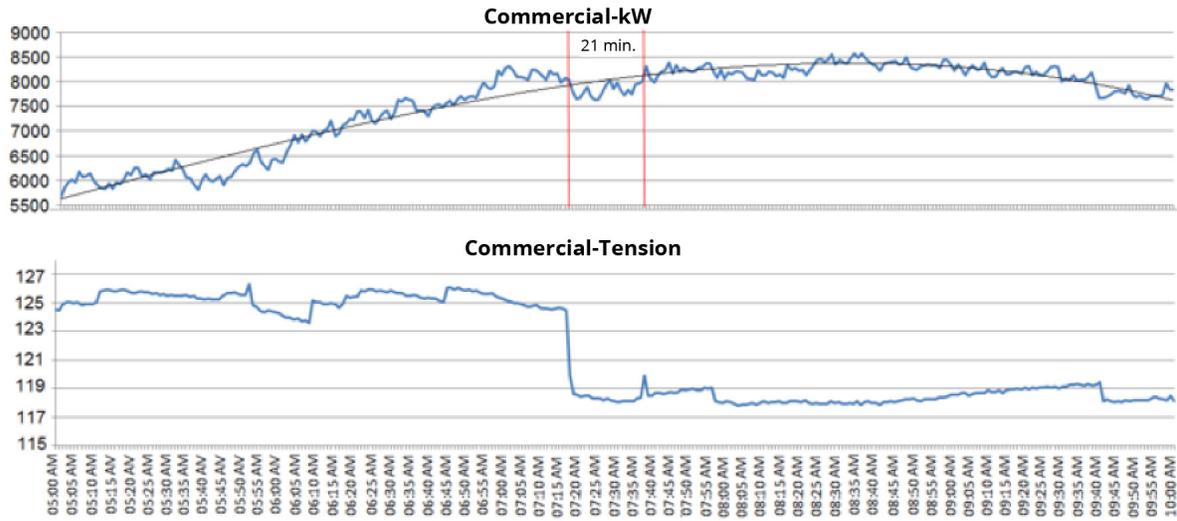


Figure D4 – Essai relatif à la RD du 3 févr. au poste de la rue Commercial



## Annexe E – Renseignements supplémentaires sur l’analyse du EDGE Validator

La suite logicielle **EDGE®** qui a servi au contrôle du SRT possède un outil intégré pour calculer les économies réalisées grâce au SRT, appelé **EDGE® Validator**. Cet outil a été utilisé comme méthode de rechange pour calculer les facteurs du SRT et les économies connexes.

L’outil **EDGE® VALIDATOR** repose sur la méthodologie suivante :



Figure E.1 : Méthodologie du EDGE Validator

### Exigences en matière de données

Le **EDGE® VALIDATOR** utilise quatre types de données pour son analyse.

- Données sur les observations électriques – puissance et tension horaires à l’échelle du poste.
- Données météorologiques – température horaire, taux d’humidité relative et variables choisies par l’utilisateur pour une station météorologique située à proximité du nœud.
- Données sur l’état du SRT – l’état de marche ou d’arrêt du SRT, exporté depuis le **EDGE® Manager**.

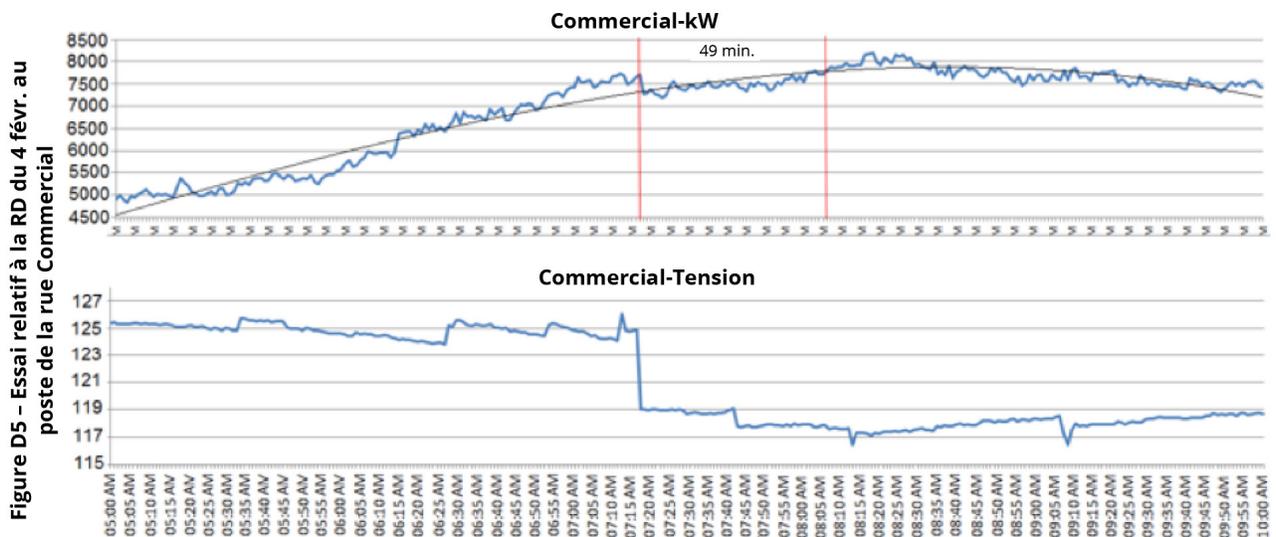


Figure D6 – Essai relatif à la RD du 5 févr. au poste de la rue Commercial

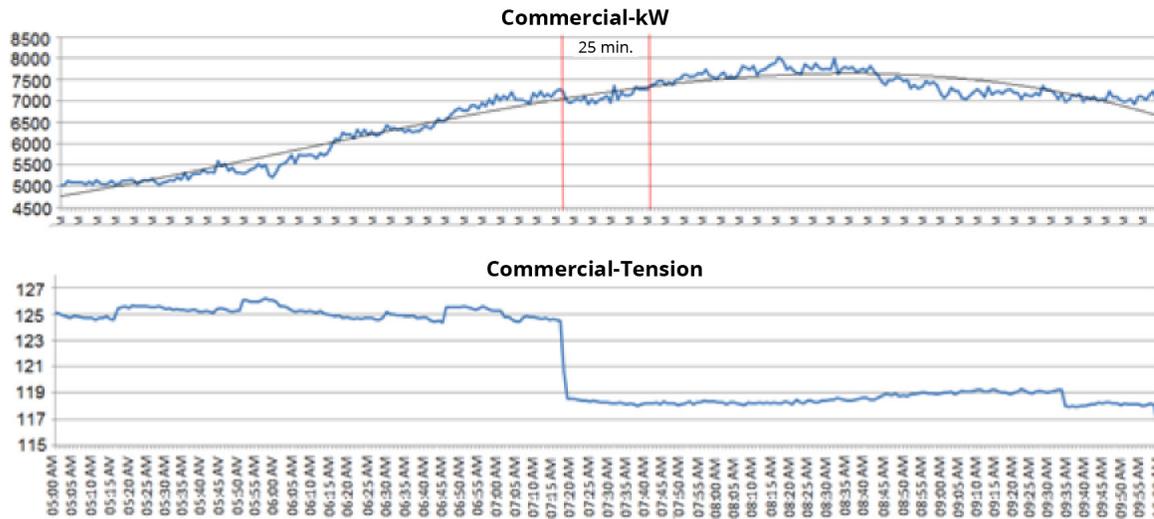


Figure D7 – Essai relatif à la RD du 3 févr. au poste du chemin Elliot

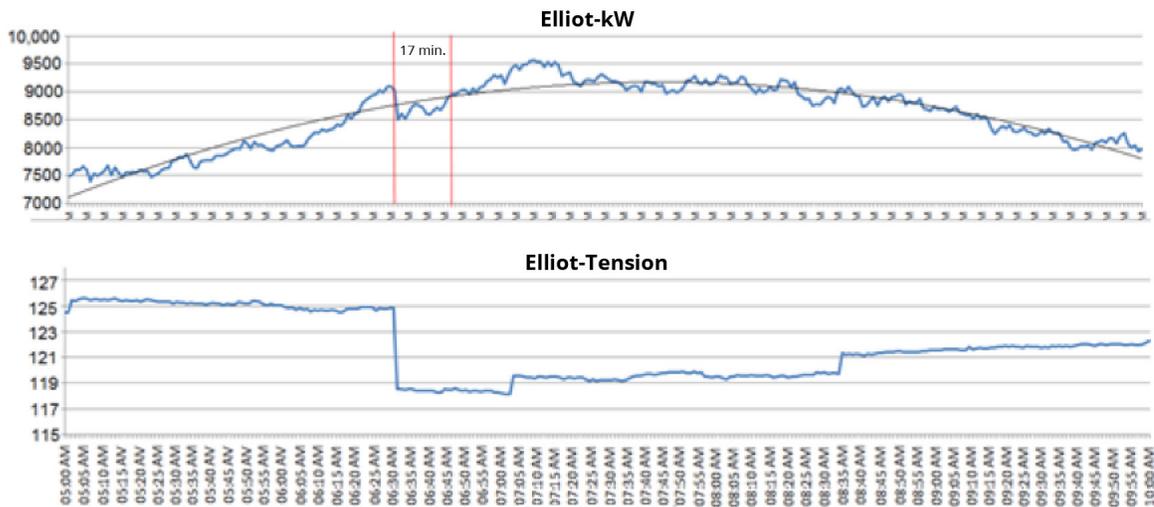
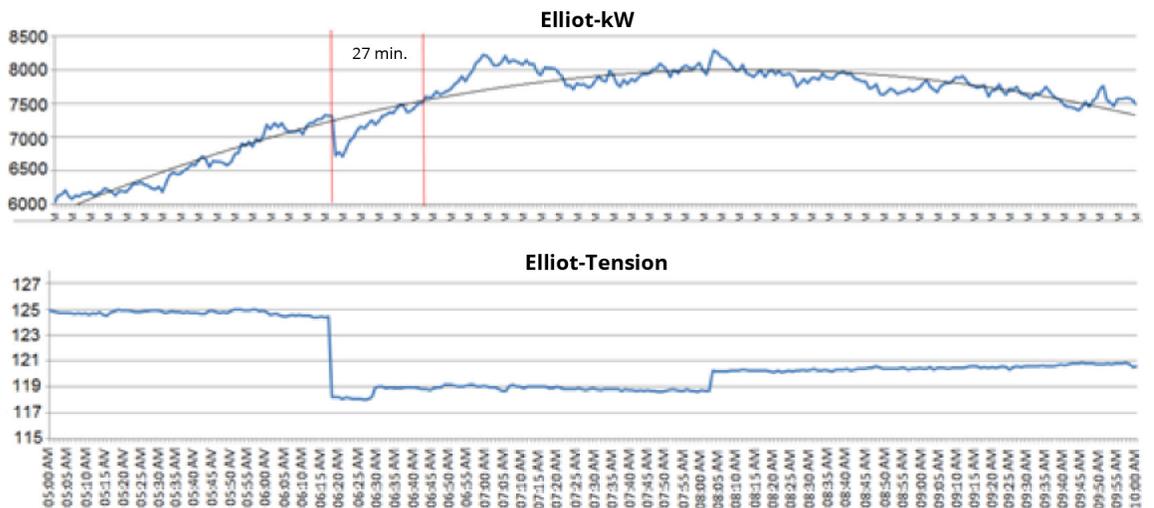


Figure D8 – Essai relatif à la RD du 5 févr. au poste du chemin Elliot



- Données sur le nombre de clients – le nombre de clients sur le nœud à différentes dates historiques, utilisées pour normaliser la charge par client comme méthode d’intégration de la croissance de nouveaux clients.

Figure D9 – Essai relatif à la RD du 3 févr. au poste de la rue Priestman

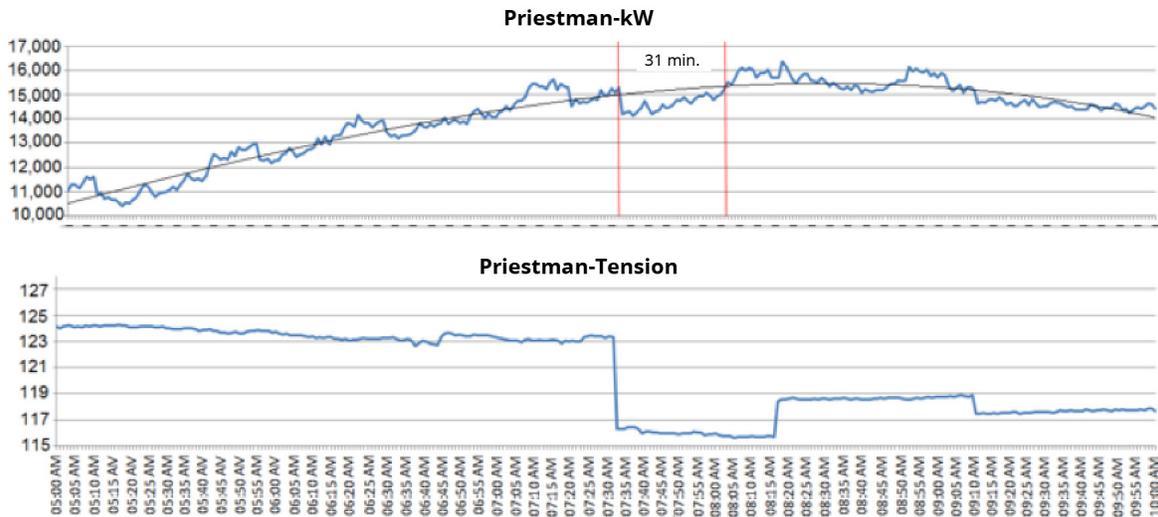
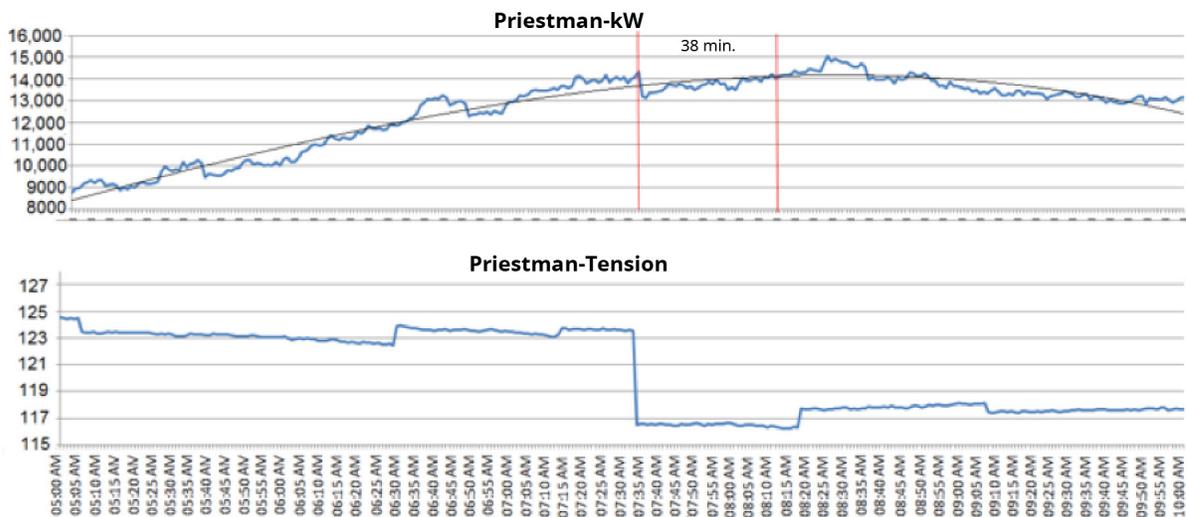


Figure D10 – Essai relatif à la RD du 4 févr. au poste de la rue Priestman



### Nettoyage et épuration des données

Avant d'importer les données dans **EDGE® Validator**, des inspections de contrôle de la qualité ont été effectuées pour s'assurer que les données étaient dans les formats requis, qu'il ne manquait pas de quantités importantes de données, qu'il n'y avait pas de données en double et que tous les éléments de données requis étaient disponibles. Les données fournies ont été formatées correctement, puis importées dans **EDGE® Validator**.

Les données suspectes ont été examinées et exclues du processus d'appariement.

Le processus d'appariement utilise l'indice horaire pour classer les 168 heures de la semaine en fonction de leurs caractéristiques de charge non liées aux conditions météorologiques. Il n'est donc pas nécessaire de limiter l'appariement en fonction du jour de la semaine ou de la fin de semaine. Toutefois, **EDGE® Validator** exclut les jours fériés qui ont été configurés.

## **Calculs**

**EDGE® Validator** calcule le facteur du SRT à l'aide d'un processus qui associe les heures de la période de marche du SRT aux heures de la période d'arrêt du SRT. L'appariement compare l'évolution d'un certain nombre de mesures dont l'effet sur la charge est jugé important :

- La température
- La température moyenne des six dernières heures
- La température moyenne des 72 dernières heures
- Le taux d'humidité relative
- L'indice horaire – facteur calculé par l'outil Validator qui mesure les caractéristiques de charge non liées aux conditions météorologiques pour chaque heure de la semaine, par exemple, la charge à 22 h le jeudi a tendance à être plus élevée que les caractéristiques météorologiques le prédisent.
- Les mégawatts – utilisés pour exclure les paires dont les variations de charge sont importantes en raison d'un facteur autre que le SRT (comme la commutation); normalisés par le nombre de clients.
- La tension – utilisée pour garantir une variation minimale de la tension, afin d'éviter une division par une valeur proche de zéro dans l'équation  $SRT_f$ .

Pour tous les paramètres, à l'exception de la tension, la différence entre les heures de marche et d'arrêt doit être inférieure ou égale à la valeur configurée pour que les heures forment une paire. En ce qui concerne la tension, la différence doit être supérieure ou égale à la valeur configurée.

Le **EDGE® Validator** compare chaque heure de marche avec chaque heure d'arrêt, en utilisant les paramètres d'appariement de la liste ci-dessus. Toutes les paires candidates qui se situent dans les limites des paramètres se voient attribuer une note d'appariement selon laquelle les différences les plus faibles (les heures les plus semblables) reçoivent une note plus élevée. Le **EDGE® Validator** sélectionne ensuite la paire ayant obtenu la meilleure note, l'ajoute à sa collection et exclut toutes les autres paires candidates qui utilisent les mêmes heures de marche et d'arrêt que la paire sélectionnée. Puis, il procède à la sélection de la note suivante la plus élevée. De cette façon, **EDGE® Validator** générera autant de paires que possible, de sorte que :

- Toutes les paires répondent aux paramètres d'appariement indiqués.
- Chaque heure ne correspond qu'à une seule paire.
- Les paires ayant obtenu les notes les plus élevées sont sélectionnées en premier.

Étant donné que le **EDGE® Validator** utilise la note la plus élevée plutôt qu'un ordre d'appariement aléatoire, cette méthode garantit également que les mêmes entrées d'appariement produiront les mêmes résultats chaque fois que l'analyse est exécutée.

Une fois que le **EDGE® VALIDATOR** dispose d'un ensemble de paires valides, il calcule le facteur du SRT pour chaque paire en divisant le pourcentage de variation d'énergie par le pourcentage de variation de tension.

$$SRT_f = \frac{\% \Delta E}{\% \Delta V}$$

À cette étape, les paires aberrantes sont retirées de la population, en fonction du paramètre de valeurs aberrantes déterminé, qui utilise l'écart absolu moyen. À partir de cette population finale, le facteur du SRT moyen est calculé et affiché dans l'interface utilisateur du **EDGE® VALIDATOR**.

Par convention dans le domaine des statistiques, le nombre minimum de paires requises est de 30, mais selon l'expérience de DVI, les meilleurs résultats sont obtenus avec des populations de près de 100 paires, voire plus. Le fait d'avoir 100 paires permet généralement d'obtenir une représentation de toutes les heures de la journée. L'écart-type ne devrait pas être beaucoup plus grand que la moyenne. La valeur p est calculée pour déterminer si la différence de charge entre les heures de marche et d'arrêt est importante; dans cette analyse, la valeur p devait être inférieure à 0,05. Lorsque la valeur p se situe en dehors des limites, que l'écart-type est trop important ou que le nombre de paires trouvées est insuffisant, il est possible de répéter l'analyse avec des paramètres d'appariement plus souples afin de générer davantage de paires et d'obtenir un résultat plus solide sur le plan statistique.

Le filtre de mégawatts exclut les paires ayant une grande différence de puissance (typiquement > 5 % de différence), mais puisque le processus de M et V cherche une différence de puissance (économie d'énergie), il a un effet asymétrique. Par conséquent, un facteur du SRT d'étalonnage est précisé pour le processus d'appariement, qui ajuste le filtre de mégawatts pour qu'il soit symétrique par rapport à la variation de puissance attendue de ce SRT<sub>f</sub> d'étalonnage. La méthodologie utilisée ici est de commencer par un SRT<sub>f</sub> d'étalonnage de zéro et de régler le filtre de mégawatts très large à 30 % et le filtre de valeurs aberrantes à cinq écarts absolus moyens. Ce premier appariement est considéré comme le premier tour. Le SRT<sub>f</sub> médian qui en résulte est ensuite utilisé comme SRT<sub>f</sub> d'étalonnage au deuxième tour. De plus, le filtre de mégawatts est resserré à 5 % et le filtre de valeurs aberrantes est resserré à deux écarts absolus moyens. Le SRT<sub>f</sub> moyen résultant du deuxième tour est utilisé comme résultat du processus d'appariement.

Pour que la réponse soit acceptable, il faut que l'un des résultats comprenne au moins 75 paires et que l'écart-type ne soit pas supérieur au double du SRT<sub>f</sub> moyen. Si aucune réponse n'est acceptée, DVI collaborera avec le service public pour appliquer des techniques statistiques supplémentaires afin de trouver une réponse qui soit acceptable sur le plan statistique pour le SRT<sub>f</sub>.

## Annexe F – Graphiques de comparaison du facteur du SRT selon la saison

Ces graphiques fournissent une vue d'ensemble de la comparaison des facteurs du SRT et des économies d'énergie calculées selon les diverses méthodes décrites dans le présent rapport pour chaque saison et poste.

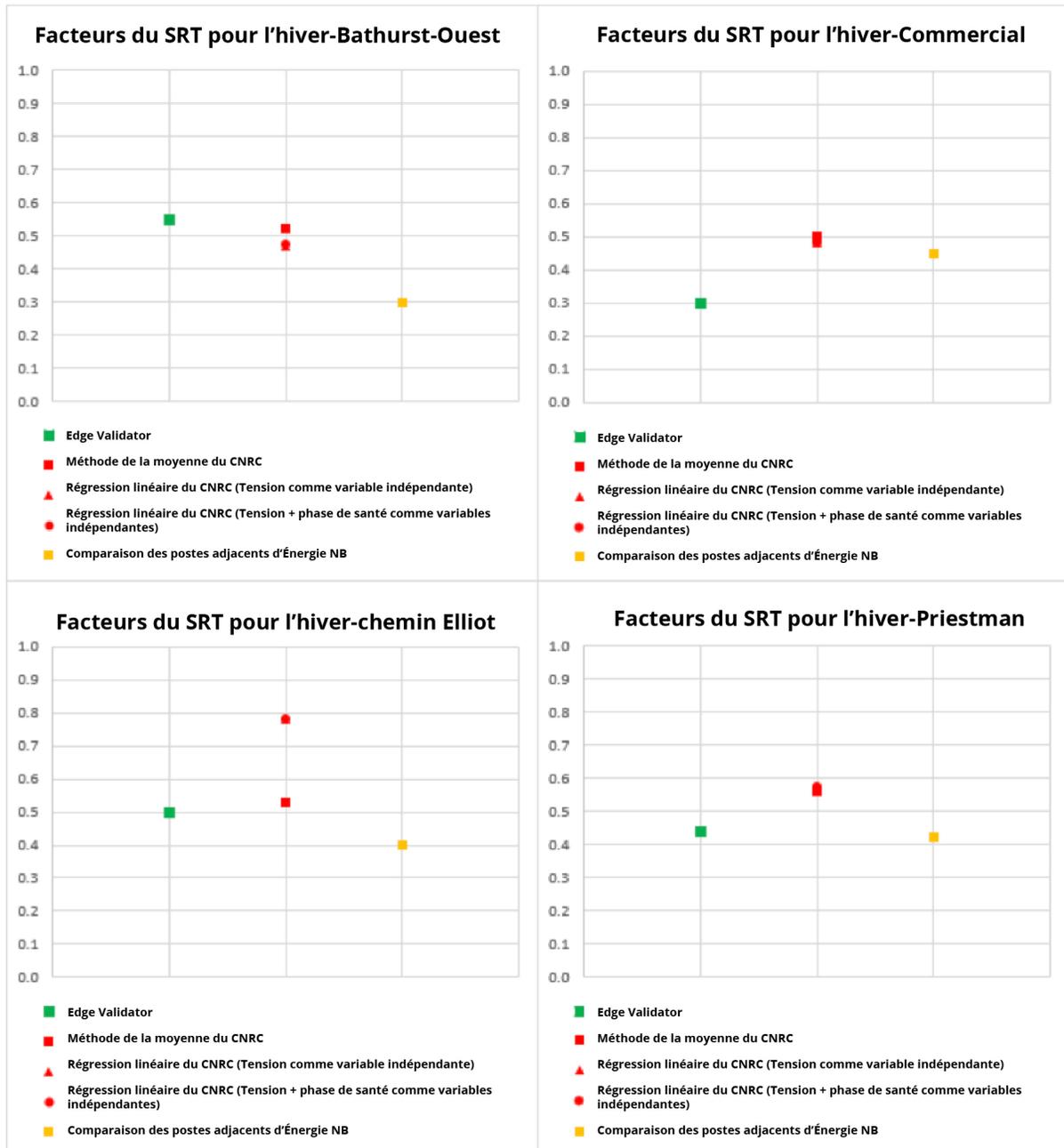


Figure F.1 : Comparaison de la méthode de calcul du facteur du SRT pour l'hiver

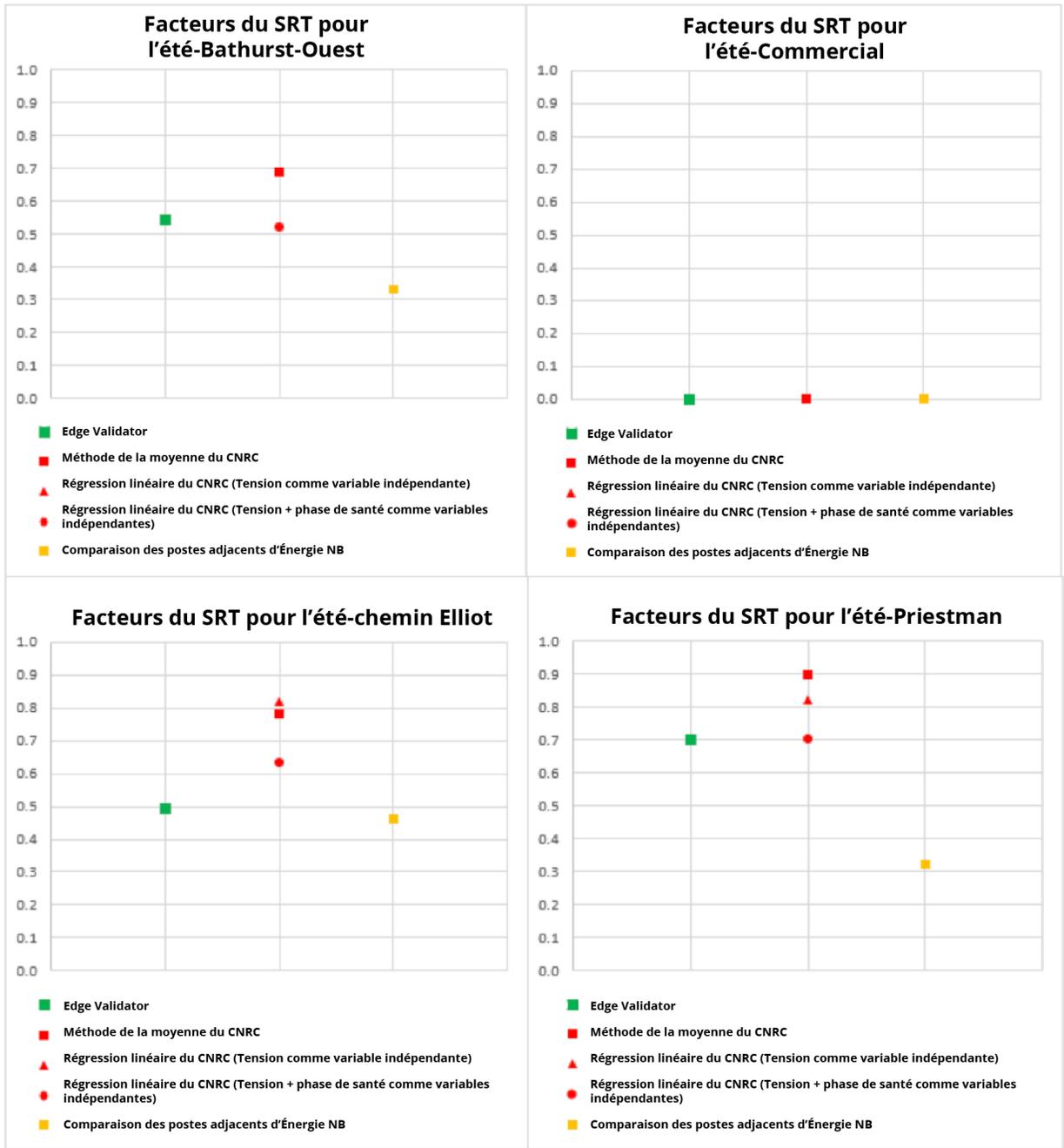


Figure F.2 : Comparaison de la méthode de calcul du facteur du SRT pour le printemps

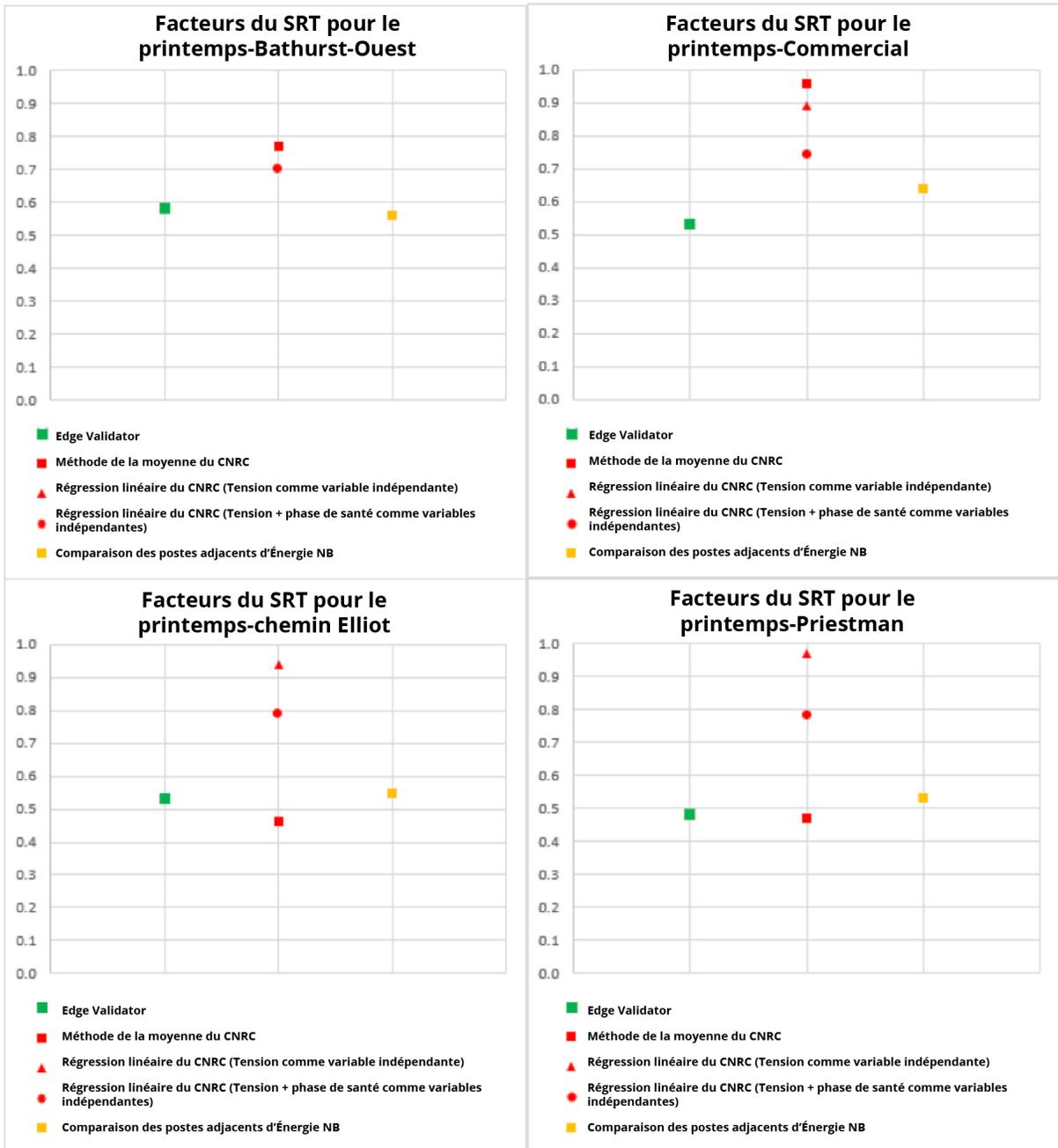


Figure F.3 : Comparaison de la méthode de calcul du facteur du SRT pour l'été

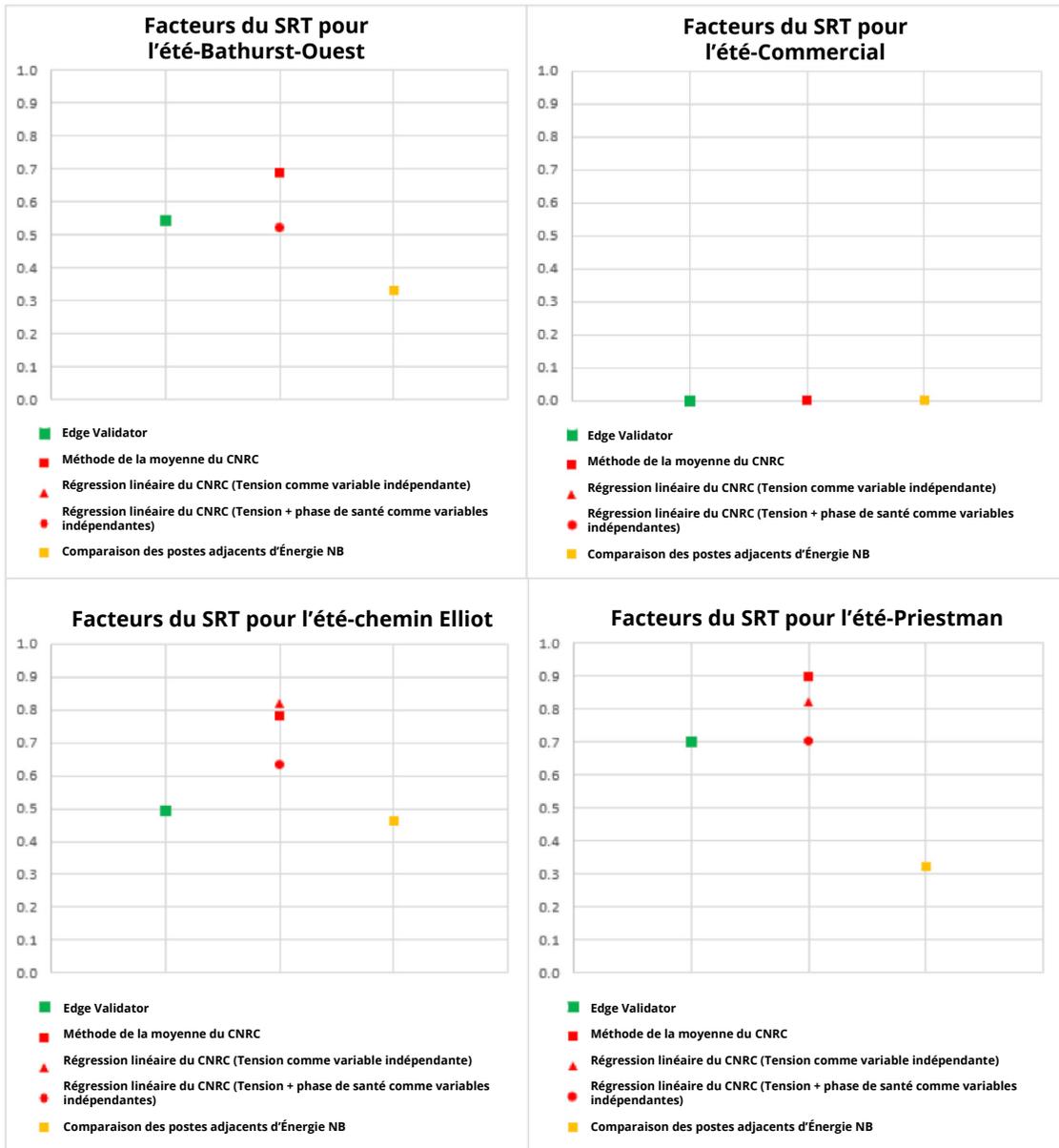


Figure F.4 : Comparaison de la méthode de calcul du facteur du SRT pour l'automne