



Analyse du fonctionnement de chauffe-eau installés à Sherbrooke, Québec

Préparé par :

Thomas Paulin-Bessette

Gestionnaire de projet :

Véronique Delisle

Ressources naturelles Canada (NRCan)
CanmetÉNERGIE – Centre de recherche de Varennes
1615, boul. Lionel-Boulet
Varennes, Québec, J3X 1P7

Date : 05-08-2021

Avis de non-responsabilité

RNCan n'est pas responsable de l'exactitude et de l'intégralité des renseignements contenus dans le matériel reproduit. RNCan doit en tout temps être indemnisé et tenu exempt du paiement de toute réclamation qui découle de la négligence ou d'un autre manquement dans l'utilisation des renseignements contenus dans cette publication ou dans ce produit.

Produits d'une tierce partie

Certains documents figurant dans cette publication ou ce produit peuvent être assujettis aux droits d'auteur d'autres individus ou d'autres organisations. Pour obtenir de l'information sur la propriété et les restrictions en matière de droit d'auteur, veuillez communiquer avec nous par :

Courriel : veronique.delisle@nrca-nrcan.gc.ca

Droit d'auteur

Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques, non commerciales, sans frais ni autre permission, sauf avis contraire.

Nous demandons à l'utilisateur :

- de faire preuve de diligence raisonnable pour veiller à l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et le nom de l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada (RNCan) et que la reproduction n'a pas été faite en association avec RNCan ni avec l'appui de RNCan.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de RNCan. Pour de plus amples renseignements, communiquez avec RNCan à l'adresse copyright.droitdauteur@nrca-nrcan.gc.ca.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2021.

Résumé

L'objectif de ce rapport est d'évaluer l'influence de certains paramètres, comme les variations saisonnières de température ou le type de chauffe-eau utilisé, sur la puissance électrique et la consommation d'électricité d'une communauté d'environ 160 chauffe-eau électriques (CEE). Ces appareils, installés à Sherbrooke, au Québec, étaient munis d'un contrôleur intelligent permettant la collecte de données de température et de courant de 2018 à 2020.

Pour permettre l'évaluation de l'influence des différents paramètres, les données ont été classées en plusieurs sous-ensembles. Elles ont été classées par période de la semaine (jours de semaine vs fin de semaine), par saison et par type de CEE. Enfin, un sous-ensemble a été créé pour analyser l'influence de la pandémie de COVID-19 sur les résultats.

Les résultats ont montré une différence importante entre les profils de consommation d'électricité des jours de semaine et des fins de semaine. Il a aussi été démontré que les CEE à trois éléments, avec leur élément inférieur à faible puissance, réduisent la pointe de consommation d'électricité du matin. De plus, il y a une différence considérable au niveau de la température, entre les sections inférieures, centrales et supérieures des CEE. Il faut noter que les CEE évalués ne pouvaient pas respecter les recommandations formulées par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) pour éviter la croissance de la bactérie *Legionella* [1], ce qui a empêché la mise en œuvre de scénarios de gestion de la demande (GD).

Table des matières

Résumé	i
Nomenclature	v
1 – Introduction	1
2 – Méthodologie	1
3 – Résultats et discussion	3
3.1 – Profil électrique et consommation d'énergie	3
3.2 – Température.....	11
4 – Conclusion	16
5 – Références	17
Annexe A.1 – Graphiques de profil électrique et de consommation d'énergie supplémentaires	18
Annexe A.2 – Graphiques de température supplémentaires	24
Annexe B – Tableaux supplémentaires	28

Liste des tableaux

Tableau 1 – Description de l’ensemble de données.....	1
Tableau 2 – Consommation d’énergie quotidienne moyenne par saison.....	4
Tableau 3 – Consommation d’énergie quotidienne moyenne par type de CEE	7
Tableau 4 – Consommation d’énergie quotidienne moyenne – COVID-19.....	10
Tableau 5 – Liste des jours fériés retirés de l’ensemble de données épuré.....	28
Tableau 6 – Description des types de CEE	29

Liste des figures

Figure 1 – Profil électrique sur 24 h – Hiver.....	5
Figure 2 – Profil électrique sur 24 h – Été.....	5
Figure 3 – Profil électrique en hiver, 40 gal. imp. vs 60 gal. imp. à 2 éléments – Jours de semaine.....	7
Figure 4 – Profil électrique en hiver, 60 gal. imp. à 2 éléments vs 60 gal. imp. à 3 éléments – Jours de semaine	9
Figure 5 – COVID-19 – Profil électrique moyen sur 24 h – Jours de semaine.....	11
Figure 6 – Emplacement des capteurs de température dans les CEE à deux éléments (gauche) et trois éléments (droite)	12
Figure 7 – Distribution de la température mesurée par le capteur inférieur par saison – Jours de semaine	13
Figure 8 – Température moyenne de l’eau d’entrée calculée	14
Figure 9 – Consommation d’énergie vs température de l’eau d’entrée calculée – Moyenne par mois	14
Figure 10 – Profil électrique sur 24 h – Automne	18
Figure 11 – Profil électrique sur 24 h – Printemps.....	19

Figure 12 – Profil électrique en hiver, 40 gal. imp. vs. 60 gal. imp. – Fins de semaine	19
Figure 13 – Profil électrique en hiver, 60 gal. imp. à 2 éléments vs 60 gal. imp. à 3 éléments – Fins de semaine.....	20
Figure 14 – COVID-19 – Profil électrique moyen sur 24 h – Fins de semaine.....	20
Figure 15 – Distribution de la consommation d’énergie quotidienne moyenne –Automne	21
Figure 16 – Distribution de la consommation d’énergie quotidienne moyenne –Printemps	22
Figure 17 – Distribution de la consommation d’énergie quotidienne moyenne – Hiver .	22
Figure 18 – Distribution de la consommation d’énergie quotidienne moyenne – Été	23
Figure 19 – Distribution de la consommation d’énergie quotidienne moyenne – 40 gal. imp. vs. 60 gal. imp.	23
Figure 20 – Distribution de la température mesurée par le capteur inférieur par saison – Fins de semaine	24
Figure 21 – Profil sur 24 h de la température mesurée par le capteur inférieur –2 éléments	25
Figure 22 – Profil sur 24 h de la température mesurée par le capteur inférieur –3 éléments	25
Figure 23 – Distribution de la température mesurée par le capteur supérieur – Jours de semaine.....	26
Figure 24 – Distribution de la température mesurée par le capteur supérieur – Fins de semaine.....	26
Figure 25 – Profil sur 24 h de la température mesurée par le capteur supérieur – 2 éléments	27
Figure 26 – Profil sur 24 h de la température mesurée par le capteur supérieur – 3 éléments	27

Nomenclature

Abréviations et définitions

PICC :	Programme d'innovation Construire au Canada
GD :	Gestion de la demande
CEE :	Chauffe-eau électrique
INSPQ :	Institut national de santé publique du Québec
FDS :	Fin de semaine

1 – Introduction

Dans le cadre du programme d'innovation Construire au Canada (PICC), Ressources naturelles Canada a effectué des tests sur des chauffe-eau électriques (CEE) sur lesquels des contrôleurs intelligents Triton de CaSA ont été installés [2]. Ces appareils, installés dans une communauté d'environ 160 CEE à Sherbrooke, au Québec, recueillent des données de température et de courant brutes. Les données correspondent au fonctionnement normal des CEE, c.-à-d., aucun scénario de gestion de la demande (GD) n'a été appliqué. Les données ont été traitées pour créer un ensemble de données épuré à analyser. Ce rapport présente les résultats de l'analyse effectuée pour évaluer l'influence de certains paramètres, comme les variations saisonnières de température ou le type de chauffe-eau, sur la puissance électrique de l'équipement et sa consommation d'électricité.

2 – Méthodologie

D'abord, les données brutes recueillies par les contrôleurs intelligents de CaSA ont été traitées pour créer un ensemble de données épuré. Le processus d'épuration des données [3] a permis de détecter et de corriger des erreurs de température des CEE, d'identifier des données manquantes et d'éliminer les données aberrantes comme les valeurs de température et de courant improbables. Le Tableau 1 présente les différentes caractéristiques de l'ensemble de données.

Tableau 1 – Description de l'ensemble de données

Caractéristiques	Description
Période de collecte de données	Du 01-10-2018 au 28-06-2020
Nombre de CEE dans l'ensemble de données brutes	163
Nombre de CEE dans l'ensemble de données épuré	159
Nombre de CEE par type dans l'ensemble de données épuré	40 gal. imp. à 2 éléments : 36 60 gal. imp. à 2 éléments : 110 60 gal. imp. à 3 éléments : 12 Non identifié : 1

Ensuite, pour améliorer davantage la qualité de l'ensemble de données, les jours avec des données enregistrées n'ont été conservés que s'ils avaient atteint le seuil établi d'au moins 274 périodes de cinq minutes enregistrées sur les 288 périodes possibles (95 %). Les jours ayant satisfait cette condition ont été conservés pour l'analyse et définis en tant que jours-CEE. De plus, certains jours fériés ont été retirés de l'ensemble de données (Tableau 5). Ces jours fériés ont été filtrés du jeu de données, en émettant l'hypothèse que leur profil de consommation d'eau est très différent de celui d'un jour de semaine normal.

Ensuite, les données ont été classées en différentes catégories, comme par période de la semaine (jours de semaine vs fin de semaine), par saison et par type de CEE, pour évaluer leur influence sur le profil de puissance électrique, la consommation d'énergie et la température des CEE. Les données ont d'abord été classées en deux catégories distinctes : jours de semaine et fins de semaine. Ensuite, quatre sous-ensembles ont été créés : **Jours de semaine COVID-19**, **Fins de semaine COVID-19** (23-03-2020 à 28-06-2020), **Jours de semaine non COVID-19** et **Fins de semaine non COVID-19** (23-03-2019 à 28-06-2019). L'objectif de ces ensembles de données était de mesurer l'effet de la pandémie de COVID-19 et du confinement qui s'ensuivit sur la consommation d'eau chaude. Le 23 mars marque le début du confinement complet au Québec. Ce jour-là, tous les commerces et les entreprises non essentiels ont dû fermer leurs portes.

Pour tous les ensembles de données suivants, les données du 23-03-2020 au 28-06-2020 (la fin de la période de collecte de données) ont été supprimées pour ignorer l'effet possible de la pandémie de **COVID-19** sur la consommation d'eau chaude typique. Ensuite, les données ont été classées par saison et par période de la semaine (**Jours de semaine d'été**, **Fins de semaine d'été**, etc.).

Enfin, les données ont été classées par type de CEE : 40 gal. imp. et 60 gal. imp. Ce dernier ensemble de données a été divisé en deux sous-ensembles : 60 gal. imp. à deux éléments et 60 gal. imp. à trois éléments. Ces données ont ensuite été classées par période de la semaine (jours de semaine vs fins de semaine). Ces huit derniers sous-ensembles de données contiennent uniquement les données d'une seule saison, soit l'hiver (21 décembre au 19 mars), puisque l'objet de l'analyse était l'influence du type de CEE et non les variations saisonnières de température.

3 – Résultats et discussion

Cette section présente l'analyse effectuée sur les différents sous-ensembles définis à la section précédente et les résultats obtenus. Des graphiques supplémentaires, comme les profils de consommation sur 24 h (été, printemps et automne), les distributions de la consommation d'énergie par saison et les distributions de la température mesurée par le capteur inférieur et le capteur supérieur, sont fournis en annexe (Annexe A.1 – Graphiques de profil électrique et de consommation d'énergie supplémentaires et Annexe A.2 – Graphiques de température supplémentaires). Les résultats sont séparés en deux sous-sections : profil électrique et consommation d'énergie, et température.

3.1 – Profil électrique et consommation d'énergie

L'objectif de cette sous-section est d'évaluer l'influence de certaines caractéristiques (saisons, type de CEE et pandémie de COVID-19) sur la consommation d'énergie et les profils électriques des CEE. Les profils électriques sont présentés sous la forme de profils de demande sur 24 h qui correspondent à la puissance moyenne de tous les CEE évalués à toute heure du jour pour chaque sous-ensemble de données; consultez l'Annexe A.1 – Graphiques de profil électrique et de consommation d'énergie supplémentaires pour examiner les graphiques de distribution d'énergie moyenne.

Influence des saisons

Le Tableau 2, la Figure 1 et la Figure 2 présentent les effets des variations saisonnières de température sur la consommation d'énergie quotidienne moyenne et les profils électriques. Les ensembles de données utilisés pour obtenir les résultats sont Jours de semaine d'été, Fins de semaine d'été, Jours de semaine d'hiver, Fins de semaine d'hiver, etc.

Tableau 2 – Consommation d'énergie quotidienne moyenne par saison

Saison	Consommation d'énergie quotidienne moyenne (kWh) - Jours de semaine	Consommation d'énergie quotidienne moyenne (kWh) - Fins de semaine	Hausse de la consommation d'énergie moyenne durant les fins de semaine (%)
Automne	8,1	9,3	14,8
Hiver	9,5	10,3	8,4
Printemps	9,2	9,9	7,6
Été	6,8	7,0	2,9

Comme prévu, la consommation d'énergie est plus élevée pendant les saisons froides comme l'hiver que pendant les saisons chaudes comme l'été.

De plus, une hausse de la consommation d'énergie est observée pendant les fins de semaine, comparativement aux jours de semaine. Une explication possible est la tendance des gens à passer plus de temps à la maison pendant les fins de semaine.

La Figure 1 et la Figure 2 présentent les profils électriques sur 24 h en hiver et en été. Ces profils sur 24 h correspondent aux profils quotidiens moyens et agrégés de tous les CEE. Les valeurs de puissance de pointe moyenne indiquées dans les graphiques correspondent aux pointes du matin et du soir, de 6 h 45 à 7 h 45 et de 18 h 30 à 19 h 30, respectivement. Les deux périodes ont été définies dans le cadre de l'analyse de données comme étant la période d'une heure ayant la consommation d'électricité la plus élevée en moyenne pendant les jours de semaine.

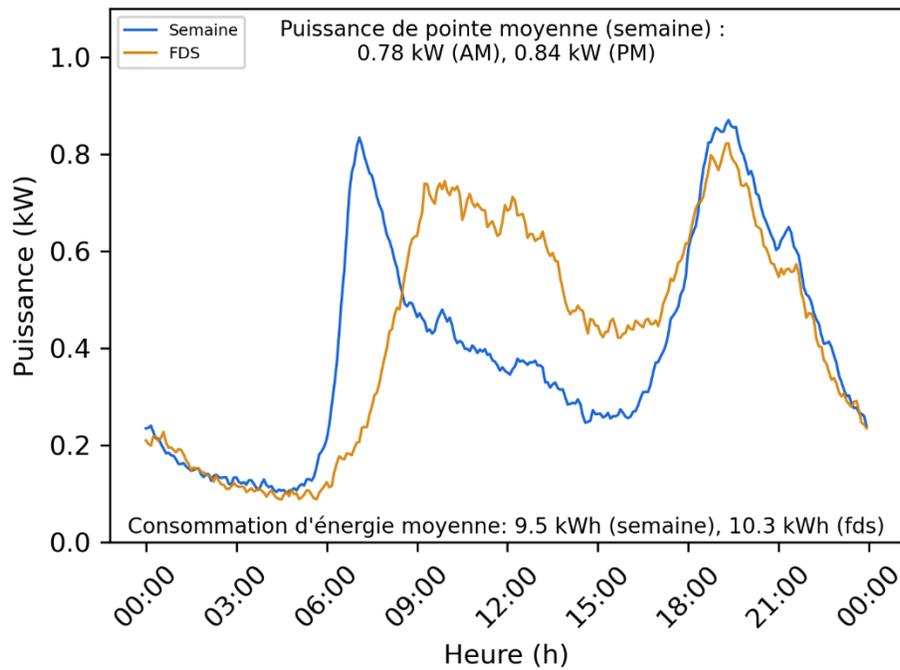


Figure 1 – Profil électrique sur 24 h – Hiver

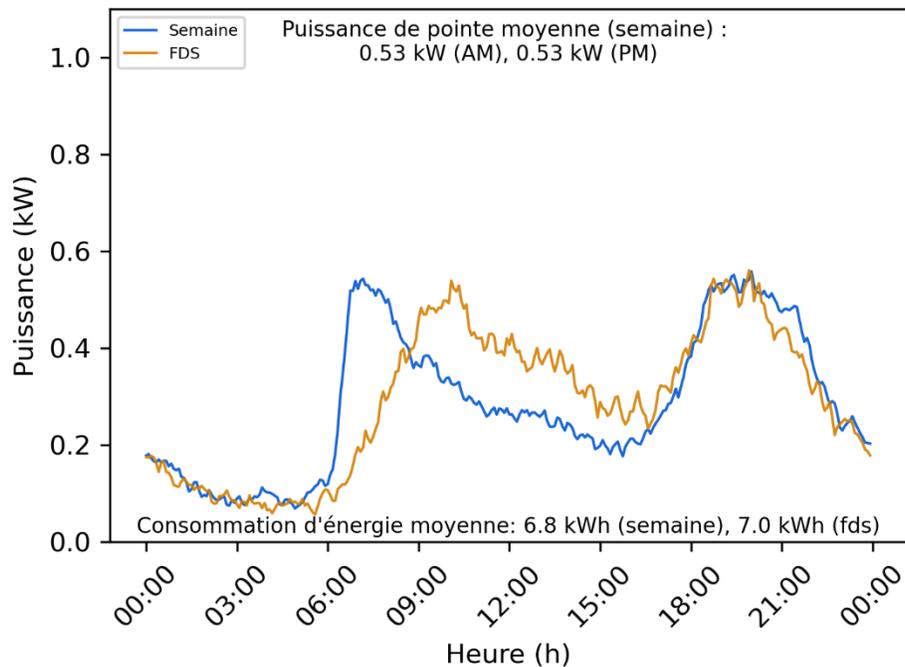


Figure 2 – Profil électrique sur 24 h – Été

Ces figures montrent une différence importante entre les profils électriques d'hiver et d'été. La puissance de pointe moyenne est beaucoup plus élevée pendant l'hiver, car le CEE doit chauffer davantage pour atteindre sa température de consigne. Lorsque l'on

observe le profil des jours de semaine des deux saisons, on constate une forte augmentation de la demande pendant les jours de semaine, de 6 h à 7 h 30. Cela correspond à la période pendant laquelle la plupart des gens commencent leur journée. Pendant la journée, lorsque les occupants sont absents de leur domicile, la demande diminue, comme le confirme l'analyse qui suivra effectuée durant la période de confinement causé par la pandémie de COVID-19. Ensuite, la demande augmente à nouveau pour atteindre une deuxième pointe entre 18 h et 19 h 30. De plus, la consommation d'énergie (l'aire sous la courbe) est plus importante pendant la pointe du soir que pendant la pointe du matin. Cette tendance a aussi été observée dans tous les graphiques de profil électrique présentés. Cela montre que davantage d'énergie et d'eau chaude sont utilisées en soirée qu'en matinée.

Les profils électriques des fins de semaine diffèrent des profils des jours de semaine. Durant la fin de semaine, la demande de pointe du matin survient plus tard et est plus largement répartie que pendant la semaine. De plus, la demande est plus élevée pendant le jour. Une explication plausible de ce résultat est que les gens passent généralement plus de temps à la maison pendant la fin de semaine que pendant la semaine, consommant davantage d'eau chaude pendant le jour. Enfin, les pointes de la soirée des jours de semaine et des fins de semaine sont semblables. Cela suggère que la consommation d'eau chaude en soirée est similaire pendant toute la semaine.

Influence du type de CEE

Le Tableau 3, la Figure 3 et la Figure 4 présentent l'influence du type de CEE sur le profil électrique et la consommation d'énergie des CEE. Les données utilisées pour obtenir les résultats présentés dans cette section contiennent des ensembles de données classés par type de CEE (40 gal. imp., 60 gal. imp., 60 gal. imp. à deux éléments et 60 gal. imp. à trois éléments) et période de la semaine (fins de semaine vs jours de semaine). Consultez le Tableau 6 de l'Annexe B – Tableaux supplémentaires pour obtenir des renseignements détaillés au sujet des différents types de CEE de l'ensemble de données.

Tableau 3 – Consommation d'énergie quotidienne moyenne par type de CEE

Type de CEE	Consommation d'énergie quotidienne moyenne (kWh) - Semaine	Consommation d'énergie quotidienne moyenne (kWh) - Fins de semaine	Hausse de consommation d'énergie moyenne durant les fins de semaine (%)
40 gal. imp.	8,0	8,8	10,0
60 gal. imp. à 2 éléments	9,7	10,5	8,2
60 gal. imp. à 3 éléments	11,5	12,8	11,3

Comme l'indique le Tableau 3, il y a une hausse de la consommation d'énergie pendant les fins de semaine. Il y a aussi une différence considérable entre la consommation d'énergie des CEE de 40 gal. imp. et 60 gal. imp. Cette plus grande consommation peut être en partie attribuée au fait qu'il y a davantage d'occupants dans les résidences avec des CEE de 60 gal. imp. En effet, pour les unités étudiées et selon un sondage rempli par les participants, le nombre moyen d'occupants par ménage est de 2,62 pour les CEE de 40 gal. imp. et de 2,99 pour les modèles de 60 gal. imp.

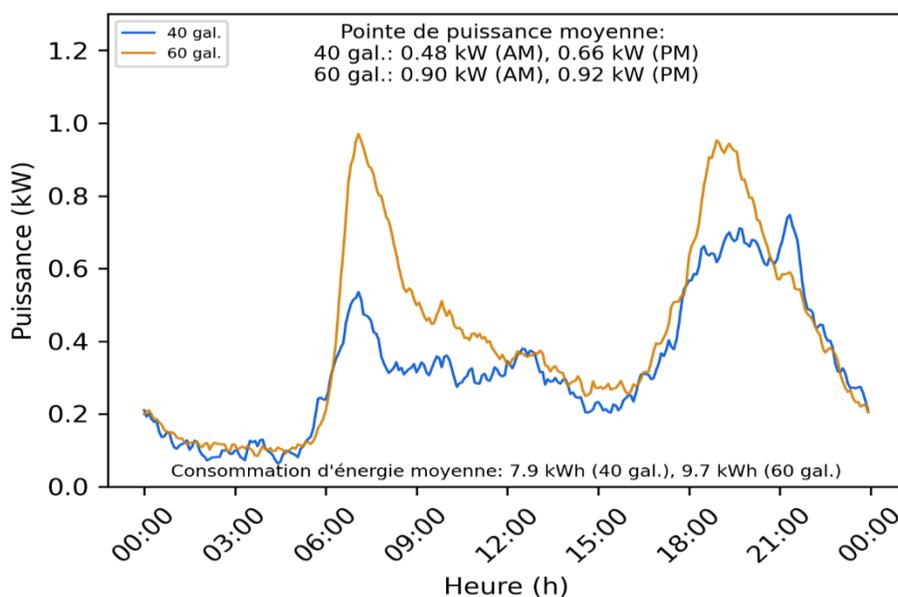


Figure 3 – Profil électrique en hiver, 40 gal. imp. vs 60 gal. imp. à 2 éléments – Jours de semaine

La Figure 3 montre la différence entre le profil électrique des CEE de 40 gal. imp. et des CEE de 60 imp. gal. à deux éléments. Puisque les CEE de 40 gal. imp. n'ont que deux

éléments, les CEE de 60 gal. imp. à trois éléments n'ont pas été inclus dans cette comparaison.

Il y a une différence considérable entre les CEE de 40 gal. imp. et les CEE de 60 gal. imp. pendant la pointe du matin (0,48 kW vs 0,90 kW). Cela est cohérent avec le fait que davantage d'eau est requise dans les ménages où un CEE de 60 gal. imp. est installé et que les réservoirs de plus grande taille sont munis d'éléments chauffants plus puissants (4 500 W pour les CEE de 60 gal. imp. vs 3 000 ou 3 800 W pour les CEE de 40 gal. imp.). Pendant les heures de travail, les profils de charge moyenne sont similaires. Pendant la soirée, il y a une deuxième pointe pour les deux profils, plus longue que la pointe du matin. De plus, pour les deux types de CEE, l'aire sous la courbe est plus importante pendant la pointe du soir que celle du matin. Cela suggère que la consommation d'eau est plus élevée pendant la soirée. Dans le cas des CEE de 60 gal. imp., les pointes du matin et du soir sont presque identiques. Toutefois, dans le cas des CEE de 40 gal. imp., la demande maximale lors de la pointe du soir est 37,5 % plus élevée que lors de la pointe du matin. Cette hausse s'explique en partie par l'utilisation d'eau chaude plus élevée en soirée qu'en matinée. Le comportement des occupants du sous-ensemble de 40 gal. imp. peut aussi être une cause. Enfin, pendant la nuit, les deux profils électriques sont semblables, ce qui indique que les pertes de chaleur sont similaires pour les deux types de CEE.

La Figure 4 montre la différence entre le profil électrique des CEE de 60 gal. imp. à deux et à trois éléments. Les CEE de 60 et 40 gal. imp. fonctionnent de façon similaire. La sortie de l'eau chaude se trouve dans le haut du réservoir et l'eau froide entre dans le bas du réservoir. Lorsque l'eau froide monte vers le haut du réservoir, elle atteint d'abord l'élément chauffant situé au plus bas du réservoir. Tous les éléments sont munis de thermostats mécaniques, de façon à ce qu'ils soient activés si la température mesurée par le thermostat est inférieure au point de consigne. Ainsi, si l'élément inférieur d'un CEE est activé, la puissance de sortie dépendra de la puissance de cet élément particulier (4 500 W dans le cas des CEE à deux éléments et 800 W dans le cas des CEE à trois éléments). Dans le cas des CEE à trois éléments, puisque l'élément inférieur est moins puissant que celui des CEE à deux éléments, il devra rester activé plus longtemps avant que la température de l'eau atteigne le point de consigne. Enfin, un tirage d'eau important augmentant le niveau d'eau froide dans le réservoir est nécessaire pour activer les éléments supérieurs d'un CEE.

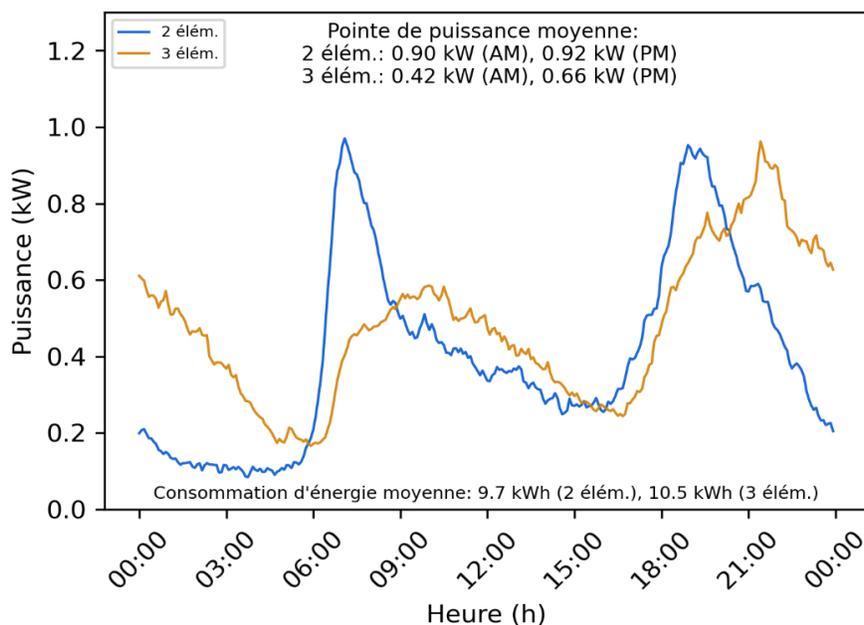


Figure 4 – Profil électrique en hiver, 60 gal. imp. à 2 éléments vs 60 gal. imp. à 3 éléments – Jours de semaine

Les CEE à trois éléments aplanissent et réduisent la pointe du matin et permettent de déplacer les pointes du matin et du soir à un peu plus tard dans la journée. Une étude d'Hydro-Québec analysant le même type de CEE présente des résultats similaires pour la pointe du matin, mais montre une réduction de la pointe du soir plus importante que la réduction observée dans cette analyse [4]. Toutefois, il faut noter que l'échantillon de CEE de 60 gal. imp. à trois éléments utilisé pour cette analyse n'est composé que de 12 chauffe-eau, alors que l'échantillon de CEE de 60 gal. imp. à deux éléments comprend 110 chauffe-eau. Ainsi, les résultats obtenus peuvent ne pas être représentatifs d'un plus grand échantillon.

Pendant la nuit et en début de matinée, les CEE à deux éléments atteignent rapidement la température de consigne grâce à l'élément chauffant inférieur de 4 500 W. Toutefois, puisque les CEE à trois éléments ne disposent que d'un élément inférieur de 800 W, ils atteignent leur température de consigne moins rapidement. Cela explique pourquoi les CEE à trois éléments consomment davantage d'électricité pendant la nuit.

Dans le cas des CEE à trois éléments, la pointe du soir est supérieure à celle du matin. Lorsque la pointe du matin commence, les CEE à trois éléments sont remplis d'eau chaude et n'ont pas besoin d'activer leurs éléments plus puissants (3 000 et 3 800 W) pour la majeure partie du matin et de l'après-midi. Par contre, en soirée, lorsque la

consommation d'eau augmente, l'activation des éléments plus puissants est requise pour atteindre la température de consigne.

On observe également un décalage entre les pointes de la soirée des CEE à deux et trois éléments. Les CEE à trois éléments consomment aussi plus d'énergie que les CEE à deux éléments (10,5 kWh vs 9,7 kWh). Les raisons qui expliquent ces résultats sont inconnues, mais l'échantillon limité de CEE de 60 gal. imp. à trois éléments pourrait être l'une des causes.

Influence de la pandémie de COVID-19

Le Tableau 4 et la Figure 5 présentent les effets de la pandémie de COVID-19 et du confinement qui s'en est suivi sur le profil électrique et la consommation d'énergie des CEE. Les ensembles de données utilisés pour obtenir ces résultats sont Jours de semaine COVID-19, Fins de semaine COVID-19, Jours de semaine non COVID-19 et Fins de semaine non COVID-19. La période de référence contient toutes les données recueillies du 23-03-2019 au 28-06-2019, alors que le sous-ensemble de la pandémie de COVID-19 contient les données recueillies entre le 23-03-2020 et le 28-06-2020.

Tableau 4 – Consommation d'énergie quotidienne moyenne – COVID-19

Catégorie	Consommation d'énergie quotidienne moyenne (kWh) - Jours de semaine	Consommation d'énergie quotidienne moyenne (kWh) - Fins de semaine
COVID-19 (2020)	10,1	9,6
Période de référence (2019)	9,6	9,0

D'abord, on remarque que la consommation d'énergie pendant le confinement de la pandémie de COVID-19 est plus élevée qu'à la même période en 2019.

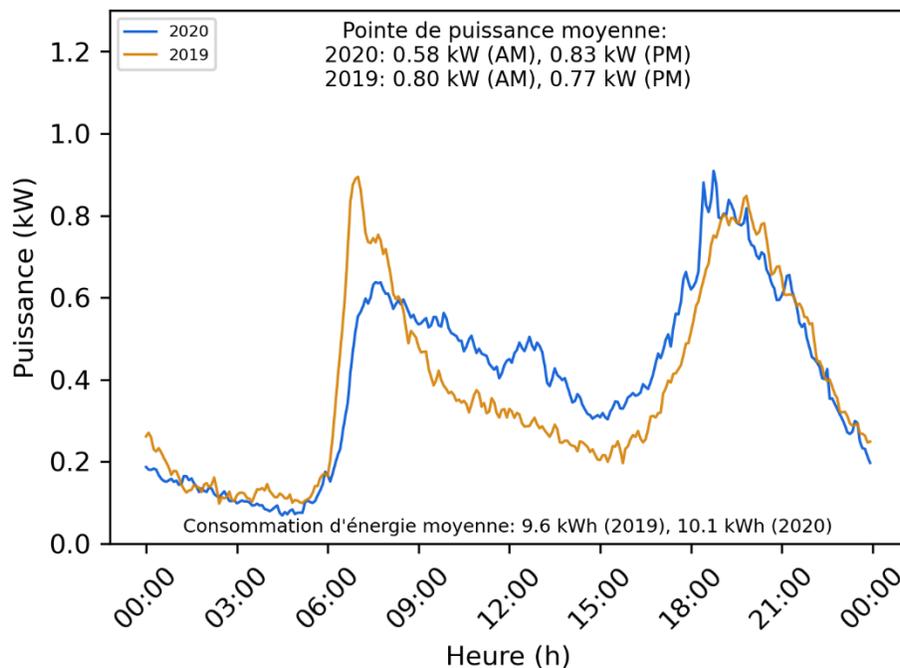


Figure 5 – COVID-19 – Profil électrique moyen sur 24 h – Jours de semaine

La Figure 5 montre que les profils du soir et de la nuit sont similaires pour les deux années. Cependant, pendant le confinement, la pointe du matin survient un peu plus tard et la pointe de la soirée survient plus tôt. Cela est peut-être dû au fait que la plupart des occupants commençaient leurs activités plus tard le matin et plus tôt en soirée, puisqu'ils n'avaient pas à se rendre au travail chaque jour. De plus, en matinée, la pointe est beaucoup plus élevée pour la courbe de 2019, mais elle est plus plate pendant la pandémie qu'elle l'était en 2019. Effectivement, entre 9 h et 18 h, la consommation d'électricité était plus élevée pendant le confinement qu'en 2019. La tendance observée en 2020 est due au fait que la plupart des gens devaient rester à la maison. Cela est similaire aux résultats observés dans la Figure 1 et la Figure 2 pour les courbes de fin de semaine.

3.2 – Température

L'objectif de cette sous-section est d'évaluer l'influence de certaines caractéristiques (période de la semaine, saison et heure du jour) sur la température des CEE. Les résultats présentés contiennent des données du capteur supérieur et inférieur des CEE testés. Pour obtenir plus de renseignements à propos de la température des CEE, consultez les figures de l'Annexe A.2 – Graphiques de température supplémentaires.

Capteur inférieur

Selon les directives de l'INSPQ [1] publiées en 2020, pour appliquer des scénarios de GD à des CEE, la partie inférieure de tous les réservoirs d'eau doit atteindre une température d'au moins 55 °C pendant une période cumulative de quatre heures par jour. La température du capteur inférieur a donc été analysée pour déterminer si ce critère était respecté. À des fins de référence, la Figure 6 montre l'emplacement des capteurs de température installés sur les CEE testés. Ces images proviennent du guide d'installation des systèmes Triton de CaSA [5]. Il faut noter que les capteurs ont été installés sur la surface extérieure de la paroi intérieure du réservoir, sous la couche d'isolation, et non directement dans l'eau.

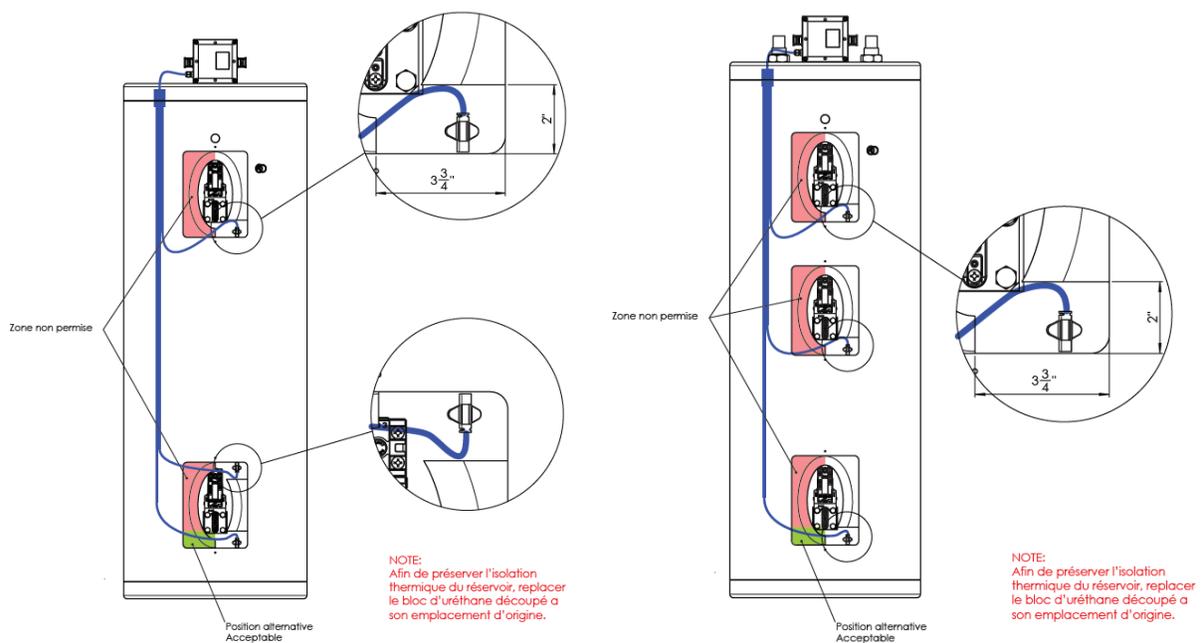


Figure 6 – Emplacement des capteurs de température dans les CEE à deux éléments (gauche) et trois éléments (droite)

La Figure 7 présente la distribution de la température mesurée par le capteur inférieur par saison. On remarque que moins de 1 % des mesures ont enregistré une température supérieure à 55 °C pour le capteur inférieur. Cela est dû au fait que le capteur inférieur se trouve sous l'élément de chauffage le plus bas.

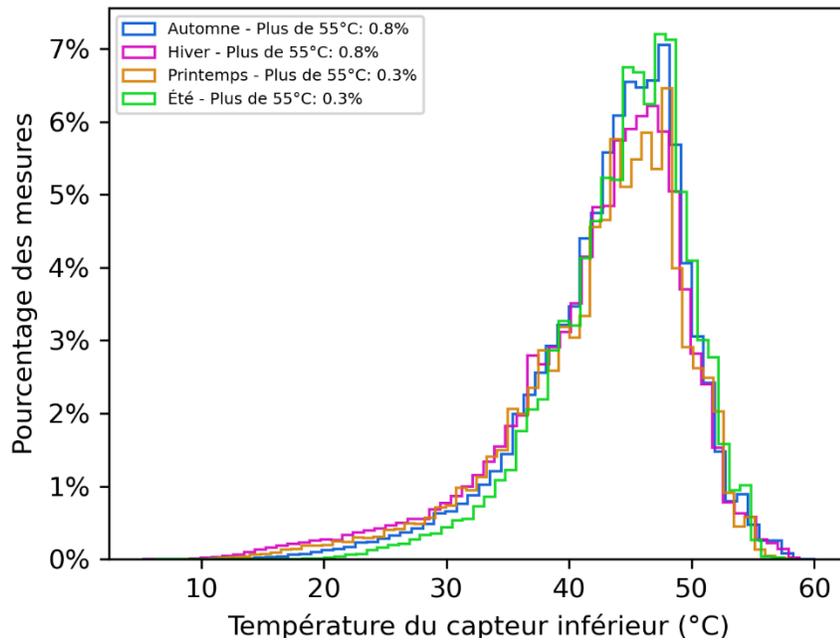


Figure 7 – Distribution de la température mesurée par le capteur inférieur par saison – Jours de semaine

Puisque la température dans le bas du réservoir dépasse rarement 55 °C, la probabilité que la température soit d’au moins 55 °C pendant une période cumulative de quatre heures conformément au critère établi par l’INSPQ est très faible. Pour l’échantillon de CEE étudié dans le cadre de ce projet, on peut conclure que les scénarios de GD ne peuvent pas être appliqués dans les circonstances actuelles.

La température du capteur inférieur a aussi été analysée pour estimer la température de l’eau froide d’entrée. Cette estimation a été réalisée en calculant la moyenne des mesures de température les plus froides (25 % du total) pour chaque mois afin d’éliminer la plupart des mesures où l’eau dans le bas du réservoir aurait déjà pu commencer à chauffer. La Figure 8 présente ces résultats à l’aide des ensembles de données Jours de semaine d’été, Fins de semaine d’été, Jours de semaine d’hiver, Fins de semaine d’hiver, etc.

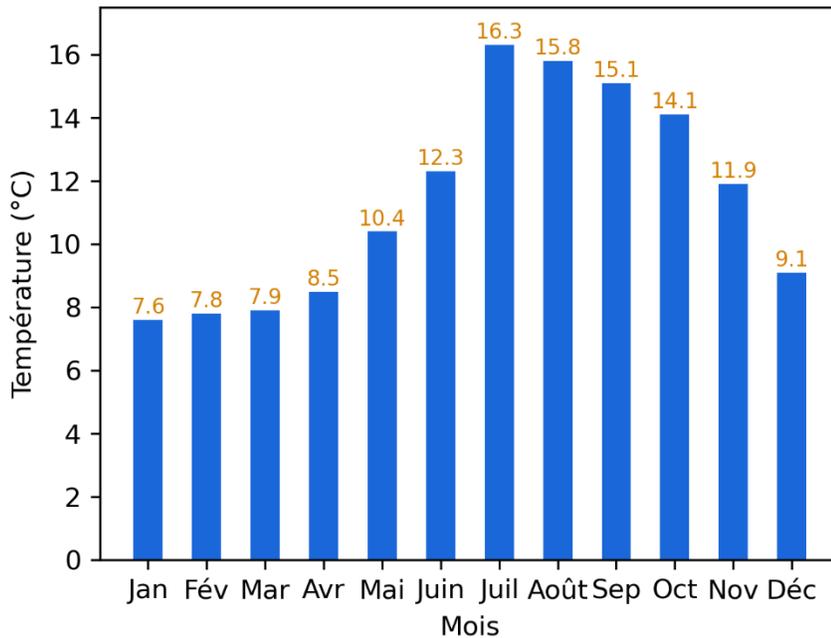


Figure 8 – Température moyenne de l'eau d'entrée calculée

Après avoir estimé la température de l'eau d'entrée, sa relation avec la consommation d'énergie quotidienne a été déterminée, comme le montre la Figure 9.

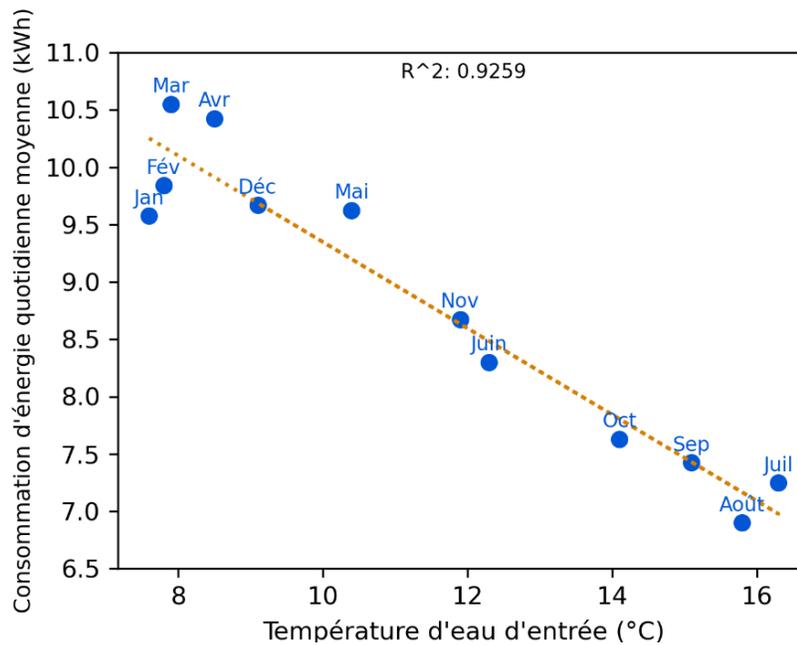


Figure 9 – Consommation d'énergie vs température de l'eau d'entrée calculée – Moyenne par mois

Il faut noter qu'il y a une corrélation négative entre la température de l'eau d'entrée calculée et la consommation d'énergie quotidienne moyenne ($R^2 = 0,926$). Encore une fois, ces résultats sont cohérents : plus l'eau d'entrée est froide, plus la quantité d'énergie requise pour obtenir de l'eau chaude est élevée. Dans le même ordre d'idée, on remarque aussi que les mois de juin et de novembre ont une consommation d'énergie moyenne similaire. Même en cas d'écart important entre les températures de l'air extérieur (juin : 16,2 °C, novembre : -3,5 °C) [6], ces deux mois ont une température de l'eau d'entrée moyenne presque identique (juin : 12,3 °C, novembre : 11,9 °C). Ainsi, on peut conclure que la température de l'eau d'entrée calculée a un effet plus important sur la consommation d'énergie quotidienne moyenne que la température de l'air extérieur.

4 – Conclusion

À partir d'un ensemble de données épuré de mesures de consommation d'électricité et de température de l'eau d'environ 160 CEE installés à Sherbrooke, au Québec, une analyse a été effectuée pour évaluer l'influence de différentes variables sur la consommation d'énergie et la température de l'eau des CEE.

Premièrement, les saisons et la période de la semaine ont un effet sur la consommation d'énergie. Les variations saisonnières de température exercent une influence sur la consommation d'énergie moyenne d'un ménage. Comme l'on pouvait s'y attendre, la consommation augmente pendant les périodes les plus froides de l'année. De plus, pendant la fin de semaine, la consommation d'énergie est plus importante et la pointe du matin survient plus tard et est plus largement répartie que pendant la semaine.

Deuxièmement, le type d'un CEE a une influence sur son profil de consommation. Les CEE de plus grande taille consomment plus d'énergie en moyenne que les CEE de 40 gal. imp. plus petits. De plus, comparativement aux CEE à deux éléments, les CEE à trois éléments réduisent la pointe de consommation d'électricité du matin et reportent la pointe de la soirée. Toutefois, il faut noter que l'échantillon de CEE de 60 gal. imp. à trois éléments utilisé pour cette analyse ne comprend que 12 unités. Pour cette raison, les résultats obtenus peuvent ne pas être représentatifs d'une plus grande population de chauffe-eau.

Troisièmement, le confinement de la pandémie de COVID-19 (données du 23-03-2020 au 28-06-2020) a influencé la consommation d'électricité et le profil de charge du ménage moyen. En effet, la consommation d'énergie a été plus importante et la pointe du matin était plus largement répartie pendant le confinement.

Quatrièmement, une corrélation importante a été établie entre la température de l'eau froide d'entrée calculée et la consommation d'énergie quotidienne moyenne des CEE.

Pour approfondir cette analyse, les prochaines étapes consistent à appliquer des scénarios de GD et à utiliser les renseignements présentés dans ce rapport pour évaluer les effets de la GD sur la pointe de consommation d'électricité et la consommation d'énergie des CEE, ainsi que sur le confort des occupants. Cependant, étant donné que les mesures de température dans la partie inférieure des CEE obtenues dans cette analyse ne respectent pas le critère de l'Institut national de santé publique du Québec en ce qui concerne la bactérie *Legionella*, ces tests ne peuvent pas être effectués.

5 – Références

- [1] Hydro-Québec Distribution, « Réponses d’Hydro-Québec Distribution à la demande de renseignements n° 1 du ROÉÉ », 1^{er} mai 2020. [En ligne]. Lien : http://publicsde.regie-energie.qc.ca/projets/529/DocPrj/R-4110-2019-B-0047-DDR-RepDDR-2020_05_01.pdf.
- [2] A. Prieur, L.-P. Proulx, S. Wong, C. Baird, M. Fassier et J. Geissberger, *Annexe « A » Énoncé de travail - BCIP S6-0308 - Triton*, 2017.
- [3] T. Paulin-Bessette, « BCIP Data Cleaning Project - Dataset Documentation » Ressources naturelles Canada, 2020, 3 août.
- [4] Hydro-Québec, « Découvrez le chauffe-eau à technologie ECOPEAK® », 2021. [En ligne]. Lien : <https://www.hydroquebec.com/residentiel/mieux-consommer/eau-chaude/chauffe-eau.html>.
- [5] CaSA Energy, « Triton - Guide d'installation du modèle Neptune », 2019.
- [6] Gouvernement du Canada, « Données historiques », 15 juin 2020. [En ligne]. Lien : https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html.

Annexe A.1 – Graphiques de profil électrique et de consommation d'énergie supplémentaires

Les profils électriques sur 24 h présentés dans cette section correspondent au profil quotidien moyen agrégé de tous les CEE. Les valeurs de puissance de pointe moyenne correspondent aux pointes du matin et de la soirée, de 6 h 45 à 7 h 45 et de 18 h 30 à 19 h 30, respectivement. Les deux périodes ont été définies dans le cadre de l'analyse de données comme étant la période d'une heure ayant la consommation d'électricité la plus élevée en moyenne pendant les jours de semaine.

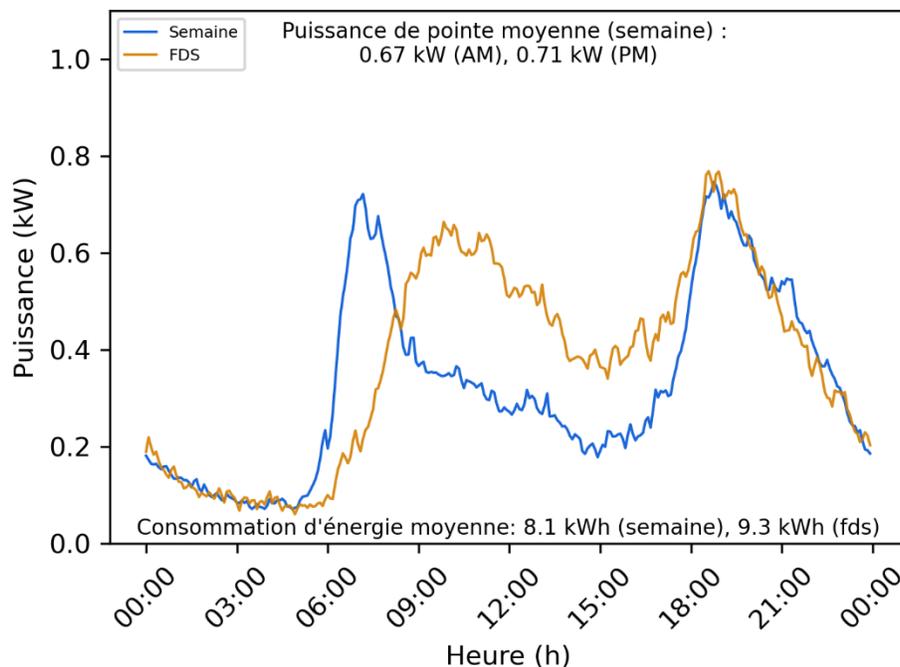


Figure 10 – Profil électrique sur 24 h – Automne

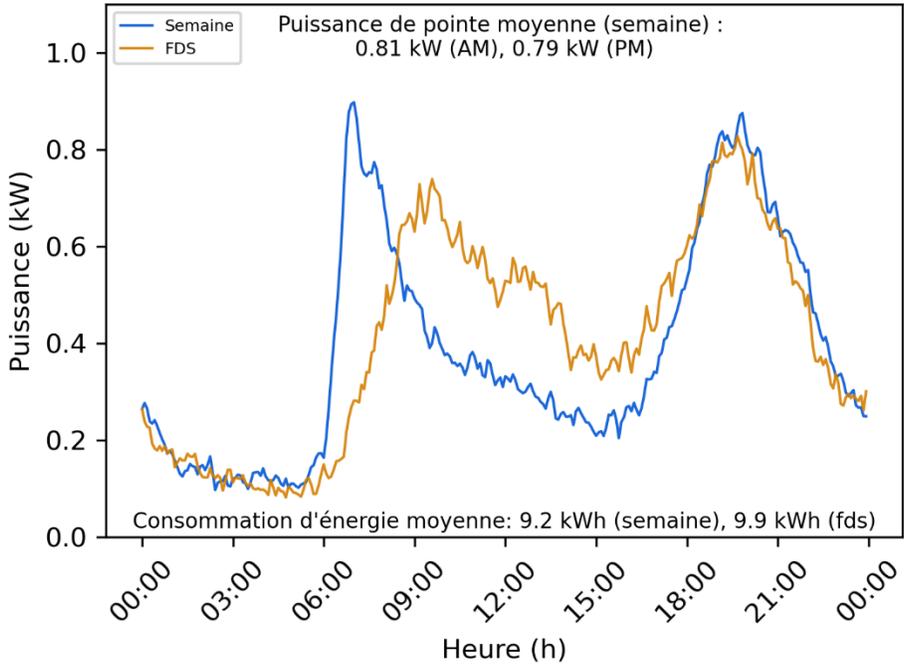


Figure 11 – Profil électrique sur 24 h – Printemps

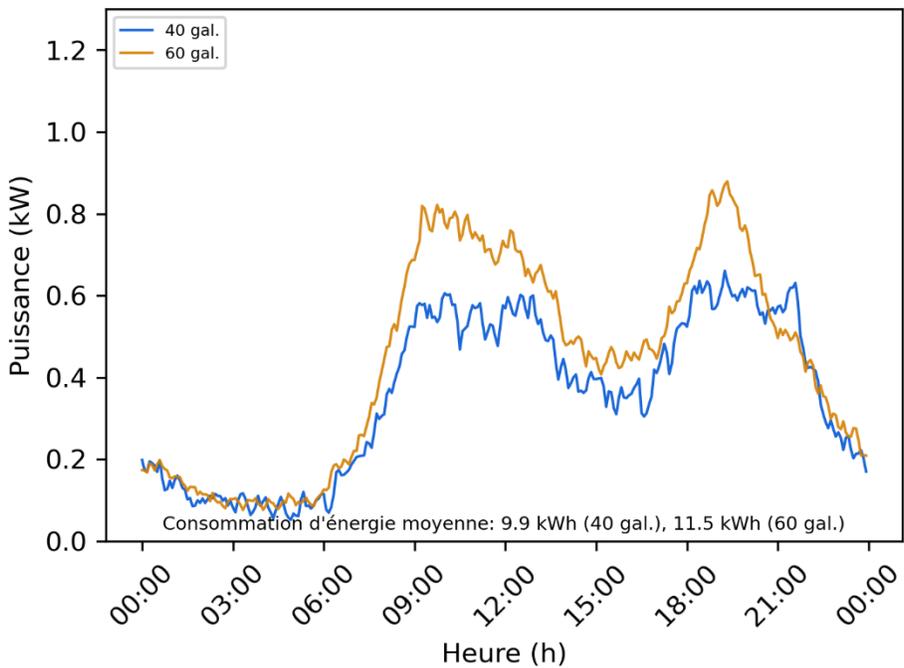


Figure 12 – Profil électrique en hiver, 40 gal. imp. vs. 60 gal. imp. – Fins de semaine

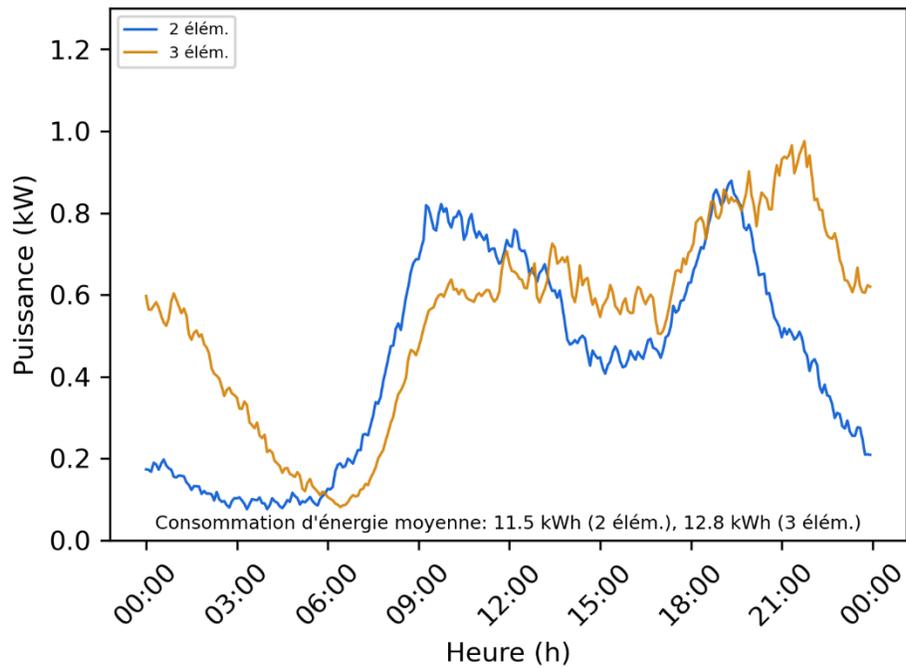


Figure 13 – Profil électrique en hiver, 60 gal. imp. à 2 éléments vs 60 gal. imp. à 3 éléments – Fins de semaine

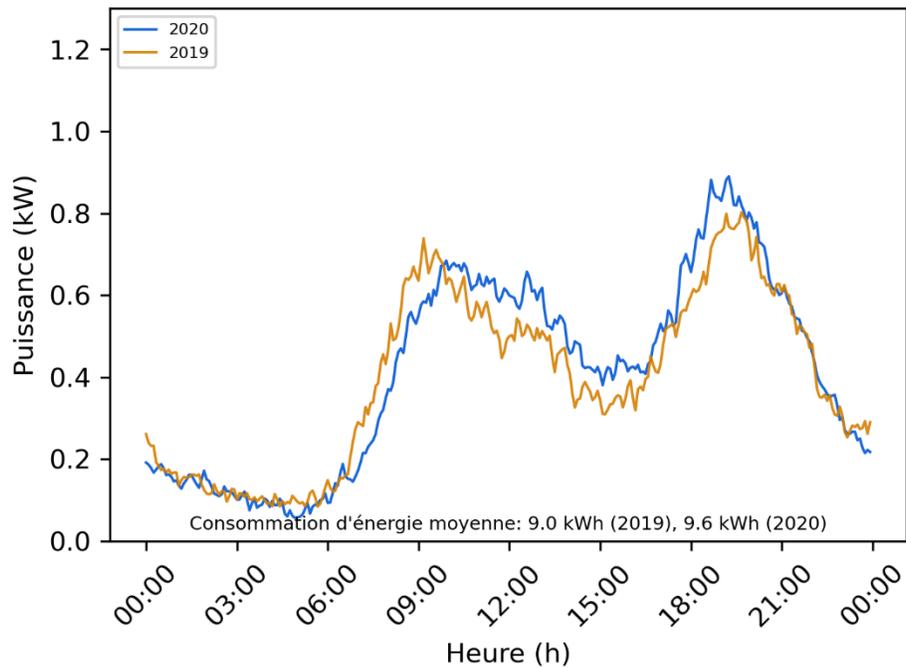


Figure 14 – COVID-19 – Profil électrique moyen sur 24 h – Fins de semaine

Pour chaque journée de l'ensemble de données, la consommation d'énergie quotidienne totale de tous les CEE a été calculée, puis divisée par le nombre de CEE pour déterminer la consommation moyenne par CEE. Les Figure 15 à 19 montrent le pourcentage des jours correspondant à différents intervalles de consommation d'énergie quotidienne moyenne.

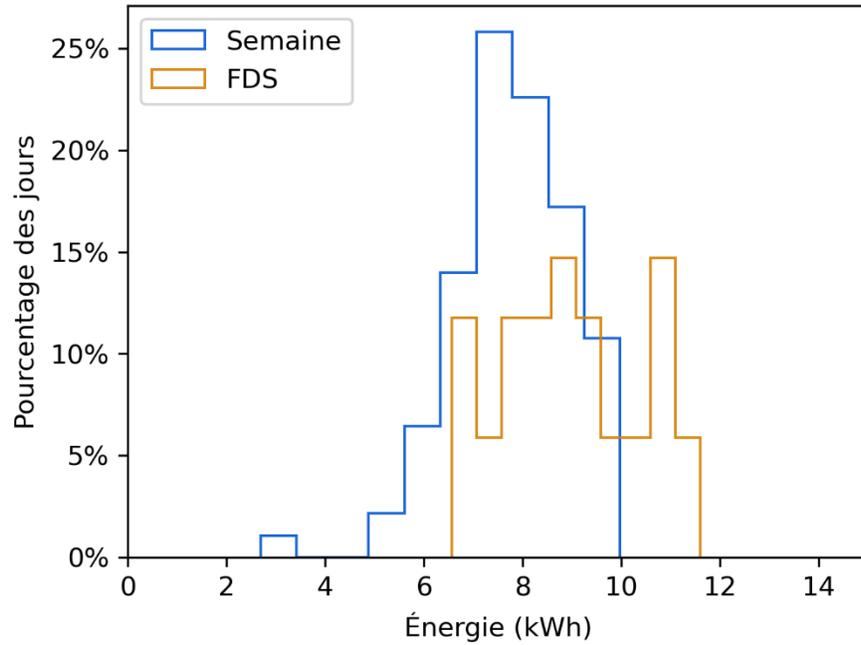


Figure 15 – Distribution de la consommation d'énergie quotidienne moyenne – Automne

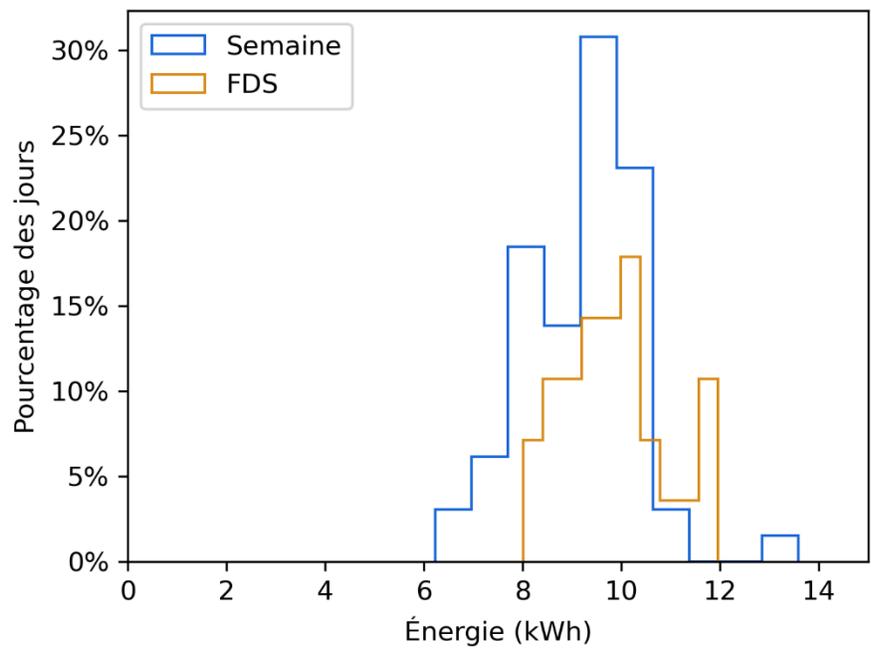


Figure 16 – Distribution de la consommation d'énergie quotidienne moyenne – Printemps

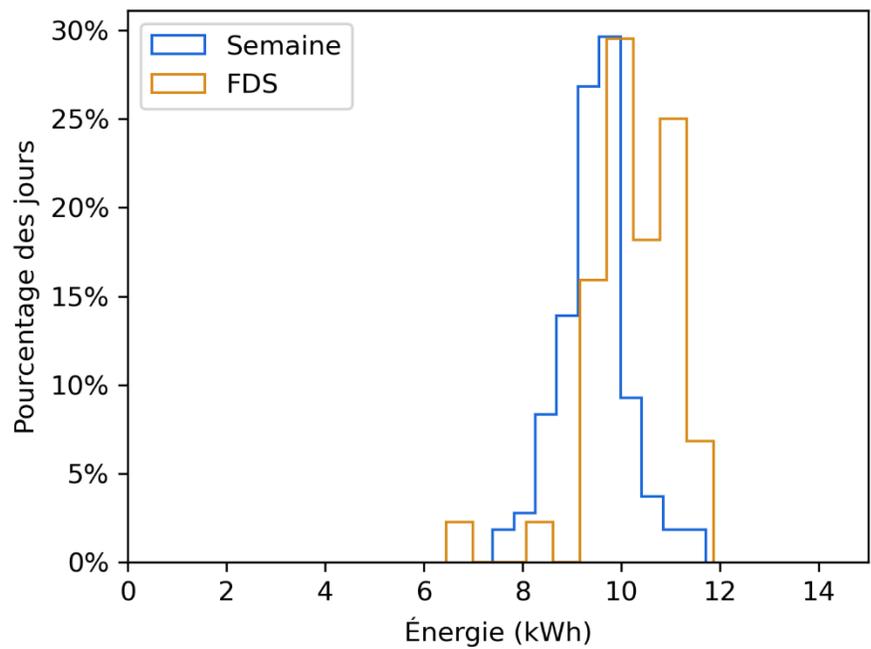


Figure 17 – Distribution de la consommation d'énergie quotidienne moyenne – Hiver

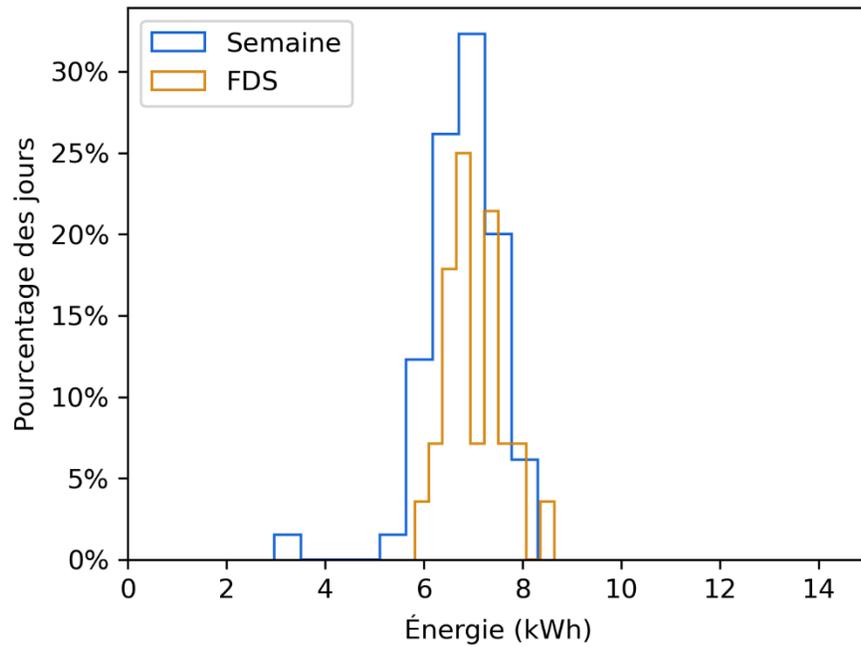


Figure 18 – Distribution de la consommation d’énergie quotidienne moyenne – Été

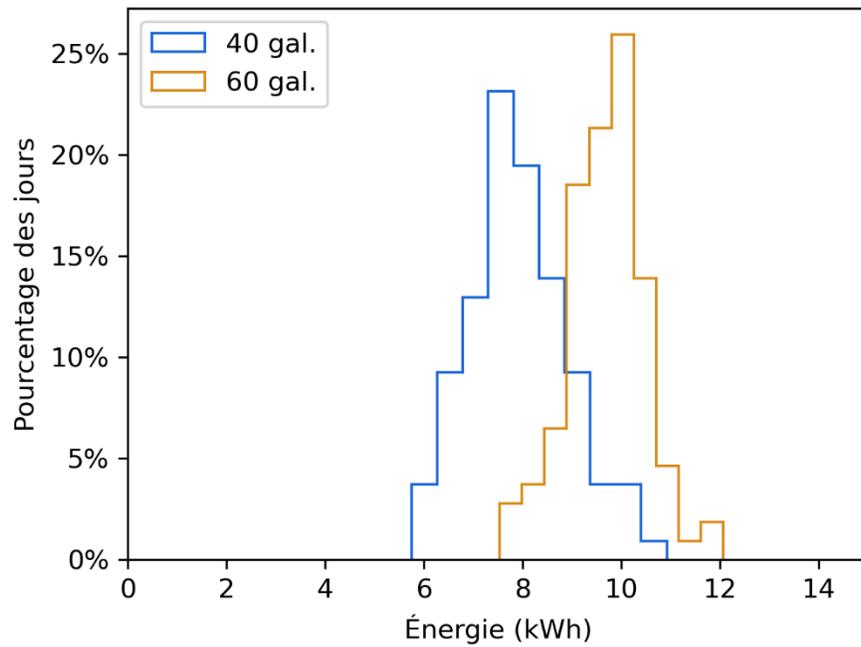


Figure 19 – Distribution de la consommation d’énergie quotidienne moyenne – 40 gal. imp. vs. 60 gal. imp.

Annexe A.2 – Graphiques de température supplémentaires

Les graphiques de distribution des mesures de température du capteur inférieur et supérieur montrent le pourcentage des mesures effectuées pour différents intervalles de température. Les graphiques de profil sur 24 h des mesures de température du capteur inférieur et du capteur supérieur correspondent aux profils quotidiens moyens et regroupés de tous les CEE pour un ensemble de données particulier.

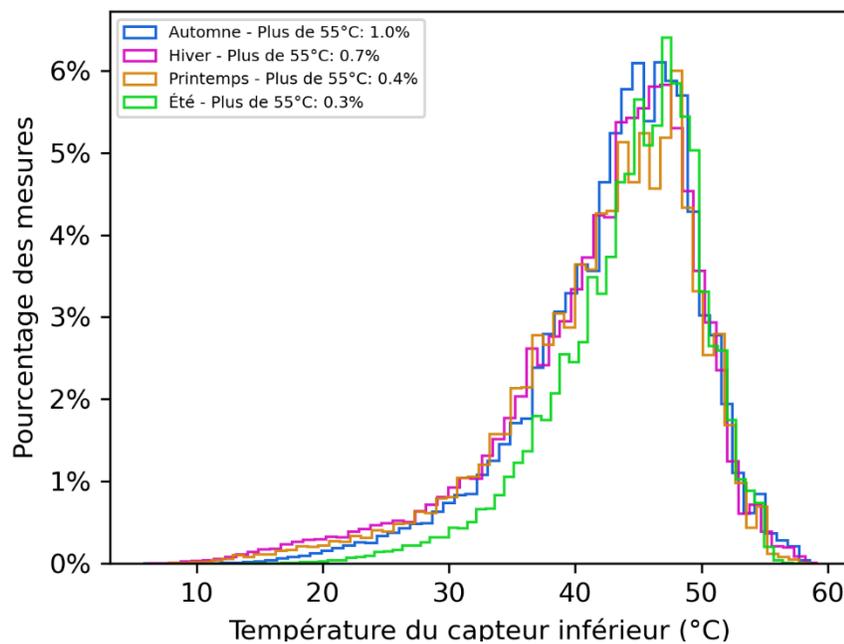


Figure 20 – Distribution de la température mesurée par le capteur inférieur par saison – Fins de semaine

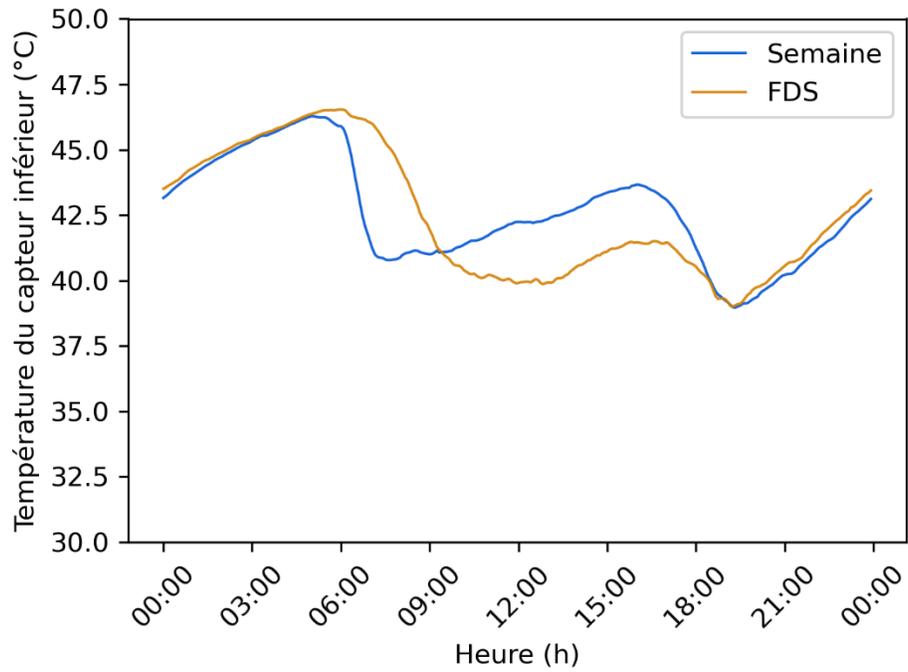


Figure 21 – Profil sur 24 h de la température mesurée par le capteur inférieur – 2 éléments

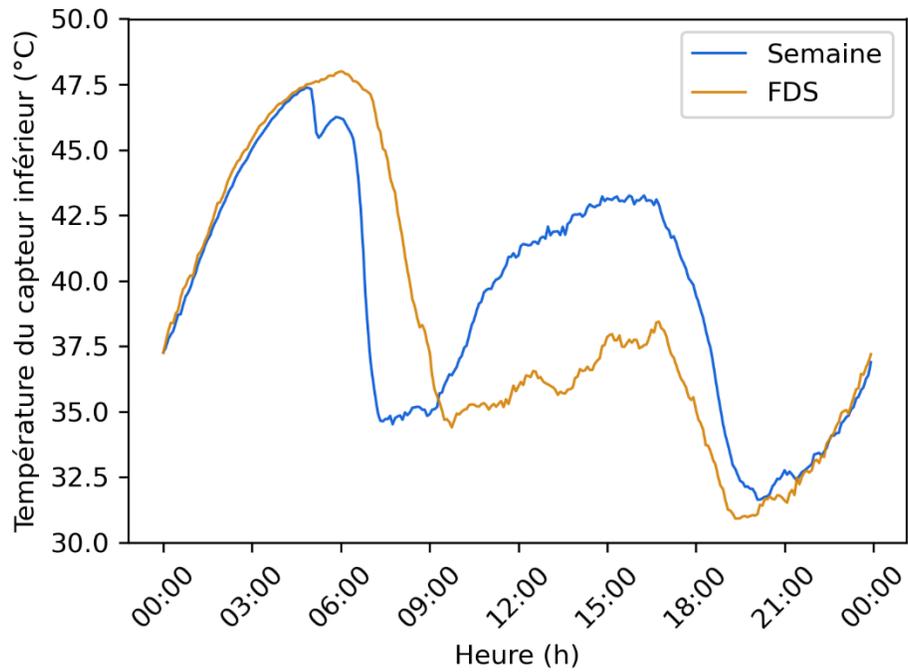


Figure 22 – Profil sur 24 h de la température mesurée par le capteur inférieur – 3 éléments

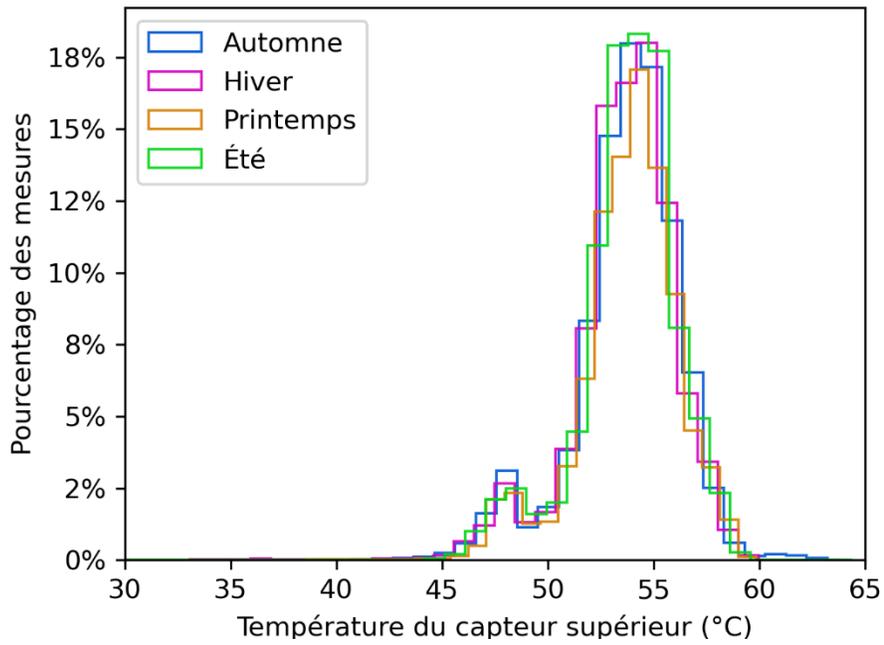


Figure 23 – Distribution de la température mesurée par le capteur supérieur – Jours de semaine

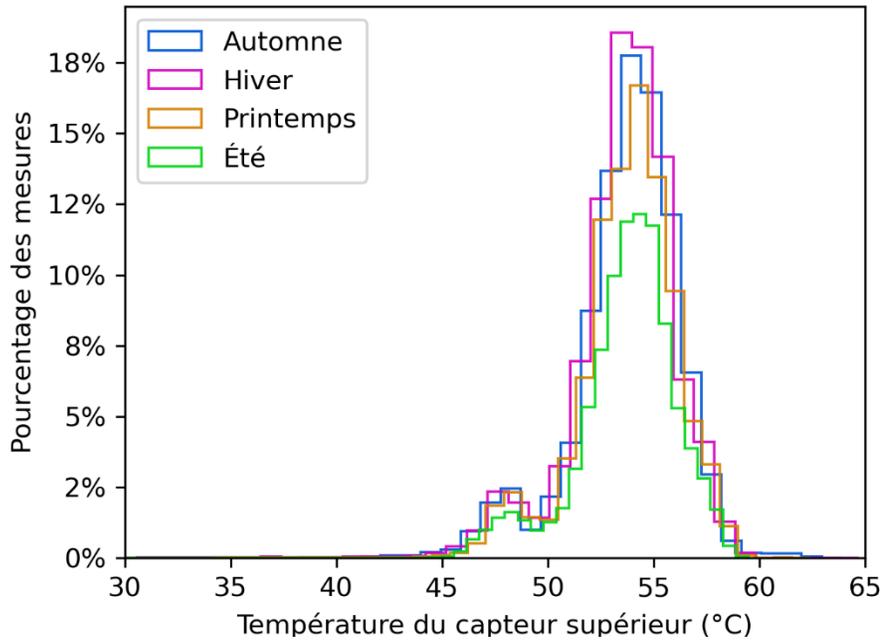


Figure 24 – Distribution de la température mesurée par le capteur supérieur – Fins de semaine

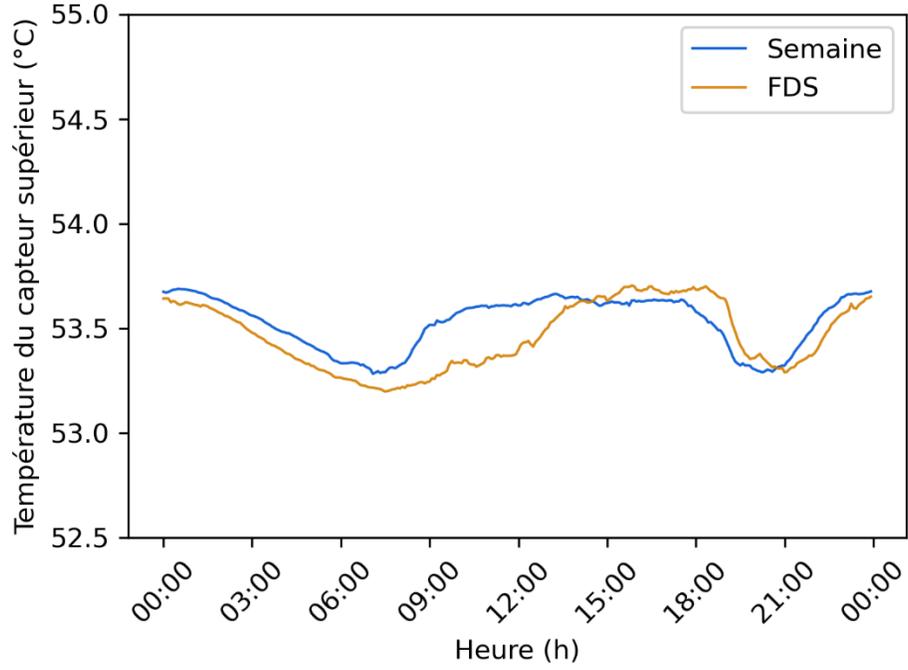


Figure 25 – Profil sur 24 h de la température mesurée par le capteur supérieur – 2 éléments

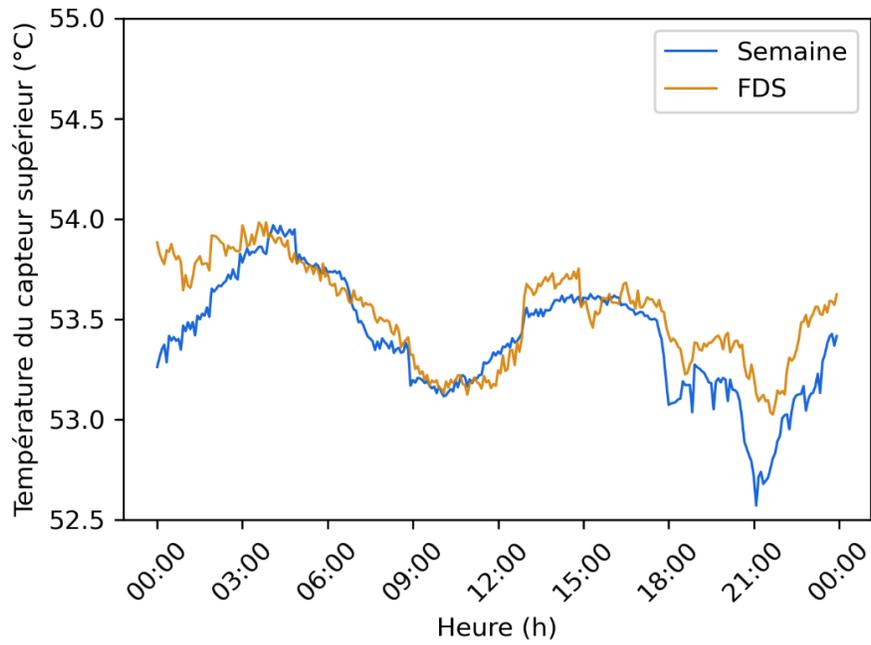


Figure 26 – Profil sur 24 h de la température mesurée par le capteur supérieur – 3 éléments

Annexe B – Tableaux supplémentaires

Tableau 5 – Liste des jours fériés retirés de l'ensemble de données épuré

```
holidays_list = [date(2018, 12, 24),  
date(2018, 12, 25),  
date(2018, 12, 26),  
date(2018, 12, 27),  
date(2018, 12, 28),  
date(2018, 12, 29),  
date(2018, 12, 30),  
date(2018, 12, 31),  
date(2019, 3, 8), # Début de l'heure d'été  
date(2019, 11, 15), # Fin de l'heure d'été  
date(2019, 4, 19), # Vendredi saint  
date(2019, 4, 22), # Lundi de Pâques  
date(2019, 5, 20), # Journée nationale des Patriotes  
date(2019, 6, 24), # Saint-Jean-Baptiste  
date(2019, 9, 2), # Fête du Travail  
date(2019, 10, 14), # Action de grâces  
date(2019, 12, 24),  
date(2019, 12, 25),  
date(2019, 12, 26),  
date(2019, 12, 27),  
date(2019, 12, 28),  
date(2019, 12, 29),  
date(2019, 12, 30),  
date(2019, 12, 31),  
date(2020, 1, 1),  
date(2020, 1, 2),  
date(2020, 1, 3),  
date(2020, 1, 4),  
date(2020, 1, 5),  
date(2020, 3, 8), # Début de l'heure d'été  
date(2020, 11, 1), # Fin de l'heure d'été  
date(2020, 4, 10), # Vendredi saint  
date(2020, 4, 13), # Lundi de Pâques  
date(2020, 5, 18), # Journée nationale des Patriotes  
date(2020, 6, 24), # Saint-Jean-Baptiste  
date(2020, 9, 7), # Fête du Travail  
date(2020, 10, 12)] # Action de grâces]
```

Tableau 6 – Description des types de CEE

Catégorie de CEE	Caractéristiques	Installation des capteurs
40 gal. imp., 2 éléments	V = 240 V Élément inférieur = 3 000 W (12,5 A) Élément central = 3 000 W (12,5 A)	Capteur inférieur = Sous l'élément inférieur Capteur central = Au-dessus de l'élément inférieur Capteur supérieur = Sous l'élément central
40 gal. imp., 2 éléments (Expert +)	V = 240 V Élément inférieur = 3 800 W (15,83 A) Élément central = 3 800 W (15,83 A)	Capteur inférieur = Sous l'élément inférieur Capteur central = Au-dessus de l'élément inférieur Capteur supérieur = Sous l'élément central
60 gal. imp., 2 éléments	V = 240 V Élément inférieur = 4 500 W (18,75 A) Élément central = 4 500 W (18,75 A)	Capteur inférieur = Sous l'élément inférieur Capteur central = Au-dessus de l'élément inférieur Capteur supérieur = Sous l'élément central
60 gal. imp., 3 éléments	V = 240 V Élément inférieur = 800 W (3,33 A) Élément central = 3 000 W (12,5 A) Élément supérieur = 3 800 W (15,83 A)	Capteur inférieur = Sous l'élément inférieur Capteur central = Sous l'élément central Capteur supérieur = Sous l'élément supérieur