



CanmetENERGY

Évaluation de la reproductibilité de la norme CSA SPE-07:23 à l'aide de deux thermopompes pour climat froid à conduit central

Préparé par :

Jean-Philippe B. Poirier, ing., ingénieur de recherche, CanmetÉNERGIE-Ottawa

Jeremy Sager, maîtrise en génie, ingénieur de recherche principal en chauffage, ventilation et climatisation (CVC) et énergies renouvelables, CanmetÉNERGIE-Ottawa

Bruce Harley, directeur, Bruce Harley Energy Consulting LLC

Préparé pour :

Ressources naturelles Canada – Office de l'efficacité énergétique – Division de l'équipement

Northwest Energy Efficiency Alliance

30 avril 2025

« CanmetÉNERGIE-Ottawa dirige le développement de solutions en sciences et technologie énergétiques pour le bénéfice environnemental et économique des Canadiens et des Canadiennes. »

Avis de non-responsabilité

Ressources naturelles Canada et aucun de ses employés ne font aucune garantie, formelle ou tacite, et n'assument aucune responsabilité légale ou autre à l'égard de l'exactitude, de l'exhaustivité ou de l'utilité du contenu du rapport. Toute référence dans le rapport à quelques produit, processus, service ou organisation que ce soit ne constitue pas nécessairement une approbation, une recommandation ou une préférence de la part de Ressources naturelles Canada. Les points de vue et les opinions des auteurs exprimés dans ce rapport ne sont pas et ne reflètent pas nécessairement ceux de Ressources naturelles Canada.

Le financement de ce travail a été fourni par Ressources naturelles Canada par l'entremise du Programme de recherche et de développement énergétiques (PRDE), ainsi que par l'Office de l'efficacité énergétique (OEE). Un financement supplémentaire a été fourni par la Northwest Energy Efficiency Alliance (NEEA). Les thermopompes mises à l'essai ont été fournies par le Northeast Energy Efficiency Partnerships (NEEP).

N° de catalogue : M154-199/2025F-PDF

ISBN : 978-0-660-79840-0

© Sa Majesté le roi du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2025

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier Liam Jones et Cory Balderson de Ressources naturelles Canada et CanmetÉNERGIE-Ottawa pour leur aide dans la mise en place de l'installation d'essai, l'installation des thermopompes et la réalisation des essais à CanmetÉNERGIE à Ottawa (Ontario).

Les auteurs souhaitent également reconnaître l'aide reçue de Mark Baines et Titus Mowry d'UL Solutions, qui ont fourni des renseignements précieux sur les essais effectués conformément à la norme CSA SPE-07:23.

Résumé

Dans le présent rapport, CanmetÉNERGIE-Ottawa a évalué la reproductibilité de la procédure d'essai CSA SPE-07:23 (SPE-07) en utilisant deux thermopompes pour climat froid (TCF) à conduit central. Les deux thermopompes étaient des systèmes à vitesse variable de 2 tonnes avec des thermostats communicants qui avaient été précédemment mises à l'essai sur le terrain et en laboratoire pour évaluer leur représentativité et leur répétabilité. L'objectif était de produire des coefficients de performance (CP) saisonniers de chauffage et de refroidissement ($SCOP_c$ et $SCOP_h$) à partir d'une série complète d'essais de classement SPE-07 en utilisant la même ligne de charge du bâtiment et l'installation d'équipement que celles utilisées pendant les essais précédents réalisés dans un autre laboratoire.

La première thermopompe mise à l'essai (unité A) a obtenu une reproductibilité globale « moyenne », avec une différence moyenne de 8,6 % dans le $SCOP_c$ et une différence moyenne de 8,8 % dans le $SCOP_h$ entre les installations. L'unité A a été cohérente en ce qui a trait à la reproduction du comportement pendant les essais à charge partielle et à pleine charge dans des conditions d'essais correspondantes, ce qui reflète favorablement sur la capacité de la procédure à induire de manière cohérente une réponse de l'équipement entre les installations d'essai.

La deuxième thermopompe mise à l'essai (unité C) a obtenu une reproductibilité globale « faible », avec une différence moyenne de 15,8 % dans le $SCOP_c$ et une différence moyenne de 9,8 % dans le $SCOP_h$ entre les installations. Les essais de l'unité C à Ressources naturelles Canada (RNC) ont rencontré des problèmes de dérive du capteur de température du thermostat qui ont entraîné une incidence négative sur le comportement de l'équipement. De plus, l'unité C a connu des coupures à la température la plus basse répertoriée de l'intervalle d'essai de chauffage (-25 °C), ce qui a entraîné l'absence de données utilisables pour cette condition d'essai. Pour ces raisons, il est difficile de tirer des conclusions des essais de l'unité C sur la reproductibilité de la procédure SPE-07.

Il y avait plusieurs facteurs touchant la reproductibilité soulevés pendant les essais, notamment : a) différences de retard de l'instrumentation entre les installations d'essai, b) retard possible dans la chambre intérieure dans le laboratoire A, c) difficultés à mesurer adéquatement la capacité de l'unité soumise à l'essai (USE) pendant les opérations de dégivrage dans le laboratoire A, d) différences d'installation dans les installations, e) différences dans les réponses dynamiques de l'équipement et du thermostat entre les laboratoires, f) configuration non vérifiable du thermostat dans le laboratoire A (pour l'unité A) et g) dérive du capteur de température du thermostat dans le laboratoire de RNCAN (pour l'unité C). Plusieurs recommandations ont été présentées au comité de développement de la procédure SPE-07 pour faciliter l'amélioration de la reproductibilité à la suite du projet.

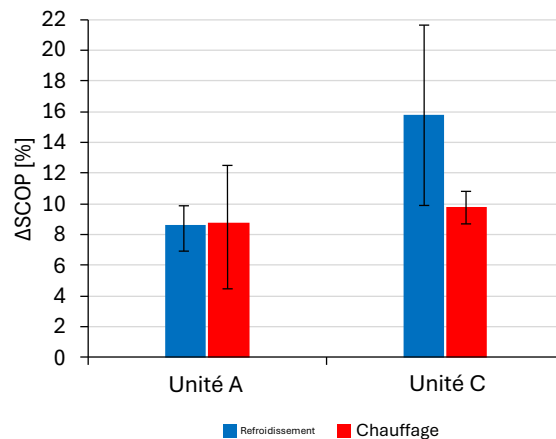


Figure E.1. Différence moyenne et écart type du $SCOP_c$ et du $SCOP_h$ pour l'unité A et l'unité C

Table des matières

REMERCIEMENTS	I
Résumé	II
Table des matières	IV
1.0. Introduction	1
1.1. Contexte du développement d'essais propres au climat fondés sur la charge	1
1.2. Introduction à l'évaluation des « trois R » de la norme CSA SPE-07	2
1.3. Évaluation du caractère représentatif de la norme CSA SPE-07:23	2
1.4. Aperçu des essais en laboratoire	5
1.5. Aperçu de l'unité A	11
1.6. Aperçu de l'unité C	14
2.0. Méthodologie	17
2.1. Évaluation des critères de convergence	18
2.2. Modifications à la ligne de charge de la procédure SPE-07:23	22
3.0. Résultats	24
3.1. Unité A	24
3.2. Unité C	52
4.0. Discussion	78
4.1. Unité A	78
4.2. Unité C	79
4.3. Facteurs influençant la reproductibilité	80
5.0. Conclusions	83
5.1. Modifications proposées à la procédure SPE-07 pour accroître la reproductibilité	84
6.0. Références	87
7.0. Annexes	89
7.1. Annexe A – Résultats détaillés des essais de classement	89
7.2. Annexe B – Modifications à la ligne de charge du bâtiment de la procédure SPE-07:23	

Liste des figures

Figure1. Disposition de la maison d'essai sur le terrain	3
Figure 2. Demi-feuilles de cloison sèche utilisées pour renforcer la capacité de masse peu profonde de la maison d'essai	4
Figure 3. Unités intérieures à conduits (A) et sans conduits (B), montrant des capteurs de débit massique de réfrigérant	5
Figure 4.(a) appareil de reconditionnement et station de mesure du débit d'air dans la chambre d'essai intérieure, et (b) humidificateur à vapeur avec ventilateur de soufflage installé dans la chambre d'essai intérieure	6
Figure 5.(a) station de contrôle principal du laboratoire pour l'installation d'essai climatisée (IEC) et (b) émulateur de l'environnement du thermostat (EET) installé dans la zone principale du laboratoire	7
Figure 6. Configuration de l'enthalpie de l'écoulement d'air conforme à la norme ASHRAE 37 à l'IEC.....	8
Figure 7. Psychromètres d'alimentation et de reprise dans la chambre d'essai intérieure	10
Figure 8. Drainage du condensat de l'unité intérieure pour orientation de déchargement verticale et horizontale.....	11
Figure 9. Unité intérieure de l'unité A installée dans la chambre d'essai intérieure.....	12
Figure 10. Unité extérieure de l'unité A installée dans la chambre d'essai extérieure avec les arbres d'échantillonnage de l'air	13
Figure 11. Thermostat communicant de l'unité A placée dans l'émulateur de l'environnement du thermostat.....	13
Figure 12.(a) unité intérieure de l'unité C dans la chambre d'essai intérieure et (b) tube de condensat attaché au serpentin A après le changement d'orientation de la décharge	14
Figure 13. Unité extérieure de l'unité C dans la chambre d'essai extérieure avec les arbres d'échantillonnage de l'air.....	15
Figure 14. Thermostat communicant de l'unité C dans l'émulateur de l'environnement du thermostat.....	16
Figure15. Régressions types de la ligne de charge pour le chauffage (a) et le refroidissement (b), à partir des données de terrain.....	23
Figure 16. Capacité de chauffage de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	26
Figure 17. Puissance d'entrée de chauffage de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A	27
Figure18. CP de chauffage de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	27
Figure 19. SCOP _H de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A	28

Figure 20. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HF sur le continent (12,2 °C).....	30
Figure 21. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HF sur le continent (12,2 °C).....	31
Figure 22. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HD sur le continent (1,1 °C).....	32
Figure 23. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HD sur le continent (1,1 °C)	33
Figure 24. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C).....	34
Figure 25. Opération de dégivrage de l'unité A pendant l'intervalle d'essai de classement HC .	36
Figure 26. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C).....	37
Figure 27. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HB sur le continent (-15,0 °C).....	39
Figure 28. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HB sur le continent (-15,0 °C).....	39
Figure 29. Capacité totale de refroidissement de l'unité A, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	41
Figure 30. Capacité totale de refroidissement de l'unité A, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	41
Figure 31. Puissance d'entrée de refroidissement de l'unité A, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	42
Figure 32. Puissance d'entrée de refroidissement de l'unité A, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	42
Figure 33. CP de refroidissement de l'unité A, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	43
Figure 34. CP de refroidissement de l'unité A, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	43
Figure 35. SCOP _c de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A	44
Figure 36. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat humide (25 °C)	45
Figure 37. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat humide (25 °C)	46

Figure 38. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C)	47
Figure 39. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C)	48
Figure 40. Capacité de refroidissement latent et rapport de mélange intérieur de l'unité A pendant l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec	49
Figure 41. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CB dans un climat humide (40 °C)	50
Figure 42. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CB dans un climat humide (40 °C)	51
Figure 43. Capacité de chauffage de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	53
Figure 44. Puissance d'entrée de chauffage de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A	53
Figure 45. CP de chauffage de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	54
Figure 46. SCOP _H de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A	54
Figure 47. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HE sur le continent (8,3 °C)	55
Figure 48. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HE sur le continent (8,3 °C).....	56
Figure 49. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C)	57
Figure 50. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C)	58
Figure 51. Résultats de la capacité de chauffage de l'unité C pour l'intervalle d'essai HC (-8,3 °C) répété trois fois à RNCAN et au laboratoire A.....	59
Figure 52. Résultats de la puissance d'entrée de l'unité C pour l'intervalle d'essai HC (-8,3 °C) répété trois fois à RNCAN et au laboratoire A.....	59
Figure 53. Résultats du CP de l'unité C pour l'intervalle d'essai HC (-8,3 °C) répétés trois fois à RNCAN et au laboratoire A	59
Figure 54. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HL sur le continent (-25,0 °C)	60

Figure 55. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN pour l'intervalle d'essai de chauffage HL sur le continent (-25,0 °C) à l'aide d'une charge de réfrigérant d'usine de 3 lb 12 oz.....	61
Figure 56. Capacité totale de refroidissement de l'unité C, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	64
Figure 57. Capacité totale de refroidissement de l'unité C, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	64
Figure 58. Puissance d'entrée de refroidissement de l'unité C, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	65
Figure 59. Puissance d'entrée de refroidissement de l'unité C, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	65
Figure 60. CP de refroidissement de l'unité C, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	66
Figure 61. CP de refroidissement de l'unité C, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	66
Figure 62. SCOP _C de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A	67
Figure 63. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat sec (25 °C)	68
Figure 64. Intervalle d'essai CE dans un climat sec sur la capacité du cycle, la puissance d'entrée, la charge et le débit d'air de l'unité C.....	69
Figure 65. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat sec (25 °C)	70
Figure 66. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat humide (25 °C)	71
Figure 67. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat humide (25 °C)	72
Figure 68. Résultats de l'essai de l'unité C à RNCAN pour l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C).....	73
Figure 69. Résultats de l'essai de l'unité C au laboratoire A pour l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C).....	74
Figure 70. Capacité latente et sensible de l'unité C par rapport à la charge du bâtiment pendant l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C) à RNCAN	75
Figure 71. Capacité latente et sensible de l'unité C par rapport à la charge du bâtiment pendant l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C) au laboratoire A	75

Figure 72. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CB dans un climat humide (40 °C)	76
Figure 73. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CB dans un climat humide (40 °C)	77
Figure 74. Différence dans la mesure de l'air d'alimentation entre une sonde platine dans un psychromètre aspiré et un réseau de thermocouples dans le flux d'air à RNCAN	81
Figure 75. Température de l'air de reprise de l'USE par rapport à la TAS à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas)	82

Liste des tableaux

Tableau 1. Données sur la performance de l'unité A – Addenda 1 de la procédure AHRI 210/240 2017	11
Tableau 2. Données sur la performance de l'unité C – AHRI 210/240 2024	14
Tableau 3. Conditions de la salle d'essai visée par la procédure SPE-07 pour la série d'essais de classement du SCOP _C	17
Tableau 4. Conditions de la salle d'essai visée par la procédure SPE-07 pour la série d'essais de classement du SCOP _H	18
Tableau 5. Points de réglage du thermostat de l'unité A en mode chauffage pour RNCAN et le laboratoire A, comme il a été déterminé par les essais de la série d'apprentissage sur le chauffage	25
Tableau 6. SCOP _H de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	28
Tableau 7. Points de réglage du thermostat de l'unité A en mode refroidissement pour RNCAN et le laboratoire A, comme il a été déterminé par les essais de la série d'apprentissage sur le refroidissement	40
Tableau 8. SCOP _C de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A.....	44
Tableau 9. Points de réglage du thermostat de l'unité C en mode chauffage pour RNCAN et le laboratoire A, comme il a été déterminé par les essais de la série d'apprentissage sur le chauffage	52
Tableau 10. SCOP _H de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A	54
Tableau 11. Points de réglage du thermostat de l'unité C en mode refroidissement pour RNCAN et le laboratoire A, comme il a été déterminé par les essais de la série d'apprentissage sur le refroidissement	63
Tableau 12. SCOP _C de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A	67
Tableau 13. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité A par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de refroidissement dans des conditions humides	91
Tableau 14. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité A par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de refroidissement dans des conditions sèches.....	91
Tableau 15. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité A par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de chauffage	91
Tableau 16. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité C par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le	

terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de refroidissement dans des conditions humides	92
Tableau 17. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité C par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de refroidissement dans des conditions sèches.....	92
Tableau 18. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité C par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de chauffage.....	92

Glossaire et abréviations

AHRI	American Heating and Refrigeration Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers
CE-O	CanmetÉNERGIE-Ottawa
CP	Coefficient de performance
CPSC	Coefficient de performance de la saison de chauffage
CSA	Association canadienne de normalisation
EXP	« Publication expresse »
IEC	Installation d'essai climatisée
$Q_c(95)$	Capacité de refroidissement à 95 °F
$Q_h(47)$	Capacité de chauffage à 47 °F
RCS	Rapport de chaleur sensible
REE	Rapport d'efficacité énergétique
REES	Rapport d'efficacité énergétique saisonnier
RNCan	Ressources naturelles Canada
$SCOP_c$	Coefficient de performance saisonnier de refroidissement
$SCOP_h$	Coefficient de performance saisonnier de chauffage
SPE	« Publication spéciale »
TAS	Température de l'air de la salle
TBR	Température la plus basse répertoriée
TCF	Thermopompe pour climat froid
T_{ID}	Température intérieure cible
T_{ZL}	Température à charge nulle
USE	Unité soumise à l'essai

1.0. Introduction

1.1. Contexte du développement d'essais propres au climat fondés sur la charge

Ressources naturelles Canada (RNC) a collaboré avec des partenaires dans le Canada et les États-Unis pour développer des procédures d'essai fondées sur la charge et des procédures de classement propres au climat à compter de 2015. L'objectif était de développer une procédure d'essai qui obligerait les thermopompes à fonctionner dans tous les modes de fonctionnement, de sorte que les résultats de performance englobent le fonctionnement à l'état stable et le fonctionnement cyclique à charge partielle, tout en tenant compte des cycles de dégivrage et de la consommation d'énergie en mode veille. Les résultats saisonniers prendraient en compte l'ensemble des températures extérieures rencontrées dans les régions climatiques dans les États-Unis et le Canada. La procédure d'essai utiliserait les mesures de contrôle du fabricant de la même manière qu'ils seraient installés au point d'utilisation, tentant ainsi de représenter directement la façon dont l'équipement se comporterait lorsqu'il est installé dans le monde réel. Le produit de ce travail était la norme CSA EXP-07, publiée en 2019.

Des essais de laboratoire approfondis utilisant les procédures EXP-07:19 et SPE-07:23 depuis 2018 ont révélé des différences considérables entre les évaluations à vitesse fixe et les essais fondés sur la charge, et ont fourni des preuves que ces différences sont largement influencées par le comportement des algorithmes de contrôle intégrés de l'équipement qui sont utilisés pendant les essais fondés sur la charge. Les intervenants ont suggéré qu'une compréhension plus approfondie des différences entre les deux procédures d'essai exigerait la compréhension de la reproductibilité et de la répétabilité des deux méthodes.

En 2020 et 2021, l'Université Purdue a entrepris une étude de reproductibilité et de répétabilité fondée sur les normes CSA EXP-07:19 et AHRI 210/240(2020). [1] Un total de cinq unités a été mis à l'essai. Certaines ont été mises à l'essai plusieurs fois dans le même laboratoire en utilisant les deux procédures d'essai, afin d'évaluer la répétabilité. Certaines ont été mises à l'essai dans plusieurs laboratoires en utilisant les deux procédures d'essai pour évaluer la reproductibilité.

Quant à l'évaluation de la reproductibilité, la même unité est mise à l'essai dans un laboratoire, puis expédiée à un autre laboratoire (ou à plusieurs laboratoires) et la procédure d'essai est répétée. La variation des résultats (en utilisant le critère d'efficacité saisonnière) est analysée statistiquement pour déterminer la variabilité d'un essai à l'autre, généralement à un intervalle de confiance de 95 %. Les essais de vérification à des fins d'application sont presque toujours effectués par un laboratoire différent de ceux utilisés à des fins de classement, donc de grandes variations dans la reproductibilité sont indésirables, car elles obligent une déclaration des classements beaucoup plus prudente afin de garantir que les essais d'application restent dans les tolérances autorisées.

En général, les essais de la norme CSA EXP-07:19 avaient des variations de répétabilité de moins de 5 % (avec une confiance de 95 %) et étaient similaires à la répétabilité des essais à l'état stable, dans les cas où l'unité n'était pas démontée et réinstallée dans le même laboratoire entre les essais. Toutefois, la reproductibilité était moins cohérente, avec une variation moyenne de 6 % à plus de 10 % pour certaines unités utilisant la norme CSA EXP-07, comparativement à une variation de 1,5 % à 4,5 % avec la procédure AHRI 210/240. En général, une variation de 5 %

serait considérée comme « bonne », de 5 à 10 % serait considérée comme « moyenne », et plus de 10 % serait « faible ». Une analyse des causes profondes a soulevé un certain nombre de préoccupations dans la procédure d'essai elle-même qui ont été prises en compte dans la mise à jour des normes CSA EXP-07:19 à CSA SPE-07:23 (ci-après appelées SPE-07), avec la croyance que ces mises à jour amélioreraient probablement la reproductibilité en réduisant la probabilité de variations dans la configuration et la mise en œuvre du processus entre les laboratoires d'essai. Dans le rapport, il a été recommandé de répéter une évaluation de la reproductibilité en utilisant la procédure SPE-07 pour estimer l'ampleur de l'amélioration, le cas échéant.

Les essais de reproductibilité dans ce projet ont été réalisés pour répondre à ces préoccupations.

1.2. Introduction à l'évaluation des « trois R » de la norme CSA SPE-07

La procédure SPE-07 a été publiée en 2023, et l'Association canadienne de normalisation (CSA) a déposé un avis d'intention pour la procédure visant à obtenir une accréditation nationale par l'entremise du Conseil des normes du Canada (CCN) et de l'American National Standards Institute (ANSI). Avant que la procédure SPE-07 puisse devenir une norme accréditée, une démonstration des « trois R » (représentativité, répétabilité et reproductibilité) serait nécessaire.

Bien que le développement et l'évaluation des essais à vitesse fixe au cours des dernières décennies se soient axés sur la répétabilité et la reproductibilité, il n'y avait auparavant eu aucune enquête directe sur la question de savoir si les essais à vitesse fixe ou fondés sur la charge approximerait plus étroitement la performance dans le monde réel. Un projet visant à évaluer la représentativité de la procédure SPE-07 a ensuite été coordonné par les Northeast Energy Efficiency Partnerships avec le soutien des organisations membres de l'Advanced Heat Pump Coalition (y compris RNCAN). Le projet a commencé par des essais sur le terrain de six thermopompes différentes à Lincoln, au Nebraska, pendant les saisons d'hiver et d'été, se terminant au début de 2023. Ces thermopompes ont ensuite été expédiées au laboratoire A où elles ont subi des essais selon les procédures SPE-07 et AHRI 210/240. Bien que le présent projet ait inclus une évaluation de la représentativité et de la répétabilité, il manquait de données sur la reproductibilité (résultats d'un laboratoire à l'autre) de la procédure SPE-07. Des essais de reproductibilité étaient donc nécessaires pour évaluer les « trois R » requis pour que la procédure SPE-07 devienne une norme d'essai accréditée au niveau national et ces essais constituent le sujet du présent rapport.

CanmetÉNERGIE-Ottawa (CE-O) de RNCAN s'est engagé à contribuer aux essais de reproductibilité par l'utilisation de son installation d'essai climatisée (IEC). Pour préparer l'installation aux essais fondés sur la charge selon la procédure SPE-07, CE-O a entrepris d'importantes rénovations de l'IEC (l'IEC avait été précédemment utilisé pour des essais exploratoires selon la procédure EXP-07:19, le prédécesseur de la procédure SPE-07).

1.3. Évaluation du caractère représentatif de la norme CSA SPE-07:23

La phase 1 doit évaluer la représentativité des essais réalisés à Lincoln (Nebraska), États-Unis, d'août 2022 à mars 2023. Les thermopompes ont été installées dans trois maisons mobiles

identiques et inoccupées dans un quartier résidentiel. Chaque maison d'essai était équipée de deux thermopompes, l'une à conduit et l'autre sans conduit, dont l'utilisation était alternée chaque semaine pour refroidir et chauffer l'espace tout au long de la période d'étude. Toutes les thermopompes étaient des unités à vitesse variable adaptées au climat froid, sauf un des systèmes à conduit (unité B) qui était un système à 2 vitesses non adapté au climat froid. Les thermopompes ont fonctionné en mode refroidissement depuis la mi-août 2022 et ont ensuite été changées en mode chauffage à la fin octobre. En mars 2023, les systèmes mis à l'essai ont été désinstallés et expédiés au laboratoire pour la phase 2. Les essais sur le terrain ont inclus une large gamme de conditions de charge pour le fonctionnement de chauffage et de refroidissement, avec des températures extérieures horaires variant de -25 à 25,6 °C (de -13 à 78 °F) pendant la période d'essai de chauffage et de 5,6 à 39,4 °C (de 42 °F à 103 °F) pendant la période de refroidissement.

Les maisons d'essai consistaient en trois maisons préfabriquées de conception identique, construites en 2021 dans la même usine, situées dans le même quartier et orientées dans la même direction par rapport à la boussole. Chaque maison a une superficie de 113 m² (1 220 pi²) à un étage (Figure1), avec des plafonds voûtés à faible pente et est isolée selon les exigences actuelles du code pour les maisons préfabriquées.

Les maisons d'essai n'étaient pas occupées. Elles étaient dotées d'appareils de chauffage pour fournir des gains internes sensibles prévus pendant la durée de l'étude de terrain, et d'humidificateurs pour les gains internes latents (uniquement pendant la saison de refroidissement) afin de se rapprocher des conditions d'occupation.

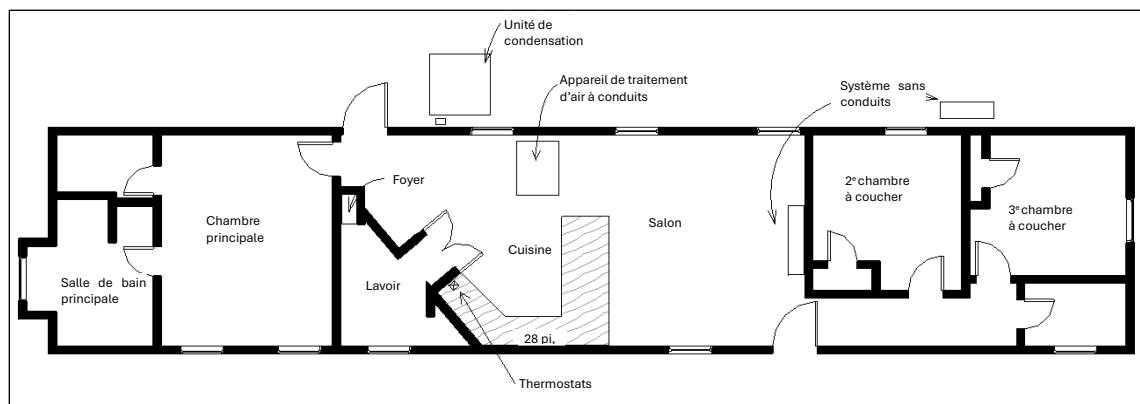


Figure1. Disposition de la maison d'essai sur le terrain

L'intention était que les maisons aient des charges de chauffage et de refroidissement cohérentes, et qu'elles soient raisonnablement proches des lignes de charge de chauffage et de refroidissement des procédures SPE-07 et AHRI 210/240 pour les unités à vitesse variable sélectionnées. Il y avait des préoccupations quant au fait que les charges de chauffage pourraient ne pas être suffisantes pour utiliser pleinement la capacité à basse température des unités d'essai, donc les coefficients de perte de chaleur ont été estimés en utilisant des essais de chauffage par résistance électrique. La valeur UA cible pour la procédure SPE-07 était de 199 W/K [377 Btu/(h·°F)]. Les mesures des trois maisons variaient de 160 à 169 W/K [de 303 à 320 Btu/(h·°F)]. Des modifications ont donc été apportées aux maisons pour augmenter le transfert de chaleur. Dans chaque maison, quatre des châssis de fenêtres à faible émissivité et à double vitrage ont été temporairement remplacés par des feuilles simples d'acier galvanisé, et

certaines des maisons avaient une partie de l'isolation et des matériaux pare-air, ainsi que des plinthes autour du périmètre, retirées de leurs dessous.

De plus, étant donné que les maisons étaient non meublées, il a été estimé que la capacité de masse thermique superficielle (qui est un paramètre utilisé dans la procédure d'essai fondée sur la charge) devrait être évaluée par des mesures sur le terrain. L'objectif de capacité de masse était de 317 Wh/K (601 Btu/°F), et des estimations des maisons ont été faites avant l'installation de la thermopompe en utilisant le comportement de cycle du foyer natif. Les estimations résultantes variaient de 282 à 298 Wh/K (de 535 à 565 Btu/°F). Une masse supplémentaire, composée de 32 demi-feuilles de cloison sèche, a été ajoutée en fonction de la masse estimée et des mesures effectuées dans une maison meublée à taille réelle, d'une étude précédente des essais fondés sur la charge (Figure 2). [2]

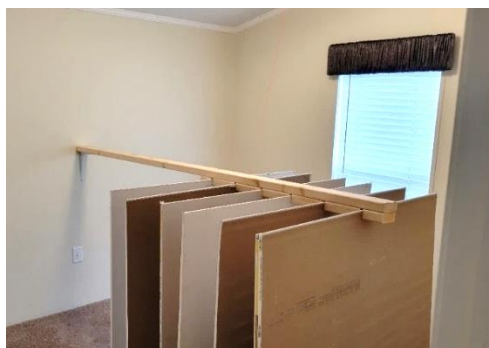


Figure 2. Demi-feuilles de cloison sèche utilisées pour renforcer la capacité de masse peu profonde de la maison d'essai

Chacune des maisons avait près de 100 capteurs, fournissant des données en temps réel à une base de données infonuagique. Les capteurs ont fourni un ensemble complet de mesures, y compris à l'intérieur de la maison et des thermopompes. Les températures mesurées, l'humidité, la puissance électrique et d'autres paramètres ont facilité une caractérisation approfondie de la capacité et de l'efficacité des thermopompes tout au long de la période d'essai. Bien que cela soit inhabituel dans les études de terrain, pour cet effort, les capacités des thermopompes ont été caractérisées du côté de l'air et du côté du réfrigérant. La capacité du côté de l'air a été calculée en mesurant le débit d'air ainsi que la température et l'humidité de l'air entrant et sortant de l'échangeur intérieur, comme d'habitude. De plus, des capteurs de débit massique de Coriolis ont été installés pour mesurer le débit massique du réfrigérant, et la capacité a été calculée en caractérisant l'enthalpie entrant et sortant de l'échangeur intérieur à l'aide de mesures de température et de pression du réfrigérant (Figure 3). Pour chaque thermopompe, cela a fourni des mesures redondantes de la capacité, une variable clé, et s'est révélé extrêmement important pour obtenir des mesures de capacité précises.

Davantage de renseignements sur la phase 1, y compris le processus d'étalonnage de la maison et l'instrumentation, sont publiés dans Harley et coll., 2023, et NEEP, 2023. [3] [4]

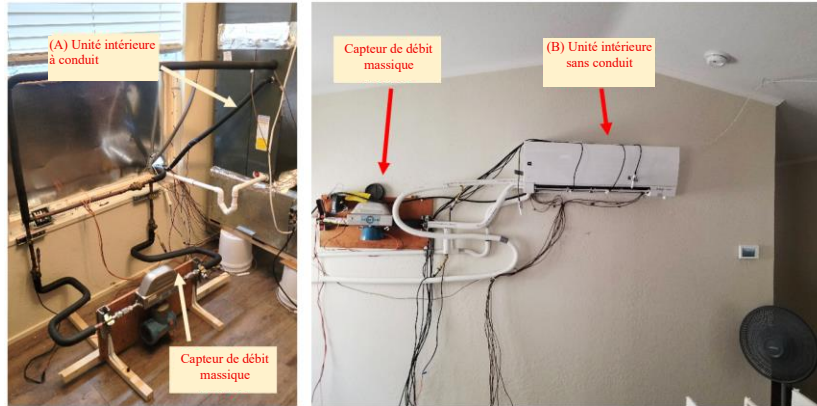


Figure 3. Unités intérieures à conduits (A) et sans conduits (B), montrant des capteurs de débit massique de réfrigérant

À la fin des essais sur le terrain, les unités ont été expédiées au laboratoire A pour les essais de la phase 2 en utilisant les procédures SPE-07 et AHRI 210/240.

Des renseignements supplémentaires sur la procédure d'essai SPE-07 utilisée dans les essais en laboratoire sont fournis dans la section 2.0 du présent rapport.

Le rapport complet décrivant la phase 2 des essais en laboratoire et les résultats de l'étude de représentativité (qui a également évalué la répétabilité) est fourni dans NEEP, 2024. [5]

1.4. Aperçu des essais en laboratoire

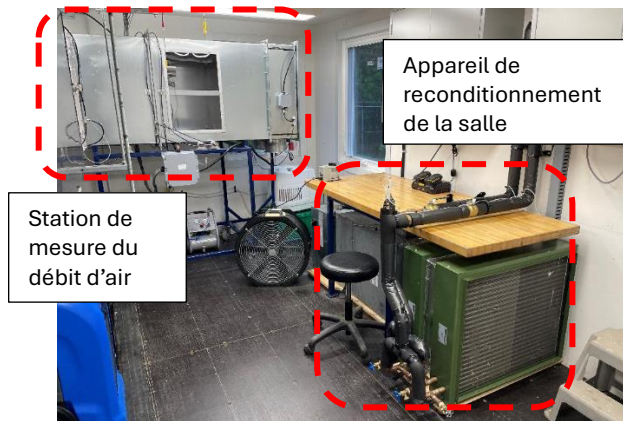
RNCan a réalisé des essais SPE-07 à l'installation d'essai climatisée (IEC), qui est un laboratoire conçu pour les essais d'équipements de CVC et de chauffage de l'eau situé dans le complexe CanmetÉNERGIE à Ottawa, Canada. Il est équipé d'une chambre environnementale intérieure et extérieure avec un équipement de conditionnement capable de simuler des charges de bâtiment atteignant jusqu'à environ 10,5 kW à des températures aussi basses que -30 °C et aussi élevées que 40 °C.

La chambre extérieure est également équipée d'un système de réfrigération mécanique secondaire qui s'active lorsque le système principal ou l'unité soumise à l'essai (USE) est en cours d'opération de dégivrage, afin de maintenir le point de réglage de la température extérieure. Le rapport de mélange de la chambre extérieure est maintenu par des humidificateurs à air chaud situés dans la zone principale du laboratoire et distribués dans la chambre extérieure par un ventilateur à vitesse variable. Les deux systèmes de réfrigération mécanique en place éliminent l'humidité de l'air.

La chambre d'essai intérieure de l'IEC est équipée d'une station de débit d'air conforme à la norme ANSI/ASHRAE 37¹, comme il est indiqué dans Figure 4, capable de mesurer des débits d'air de 60 à 2 000 pi³/min pour mettre à l'essai des systèmes à conduit et sans conduit à une pression statique externe de 0 ou 1 inH₂O[6].

¹ La norme ANSI/ASHRAE 37-09 (R2019) a été utilisée au moment des essais réalisés dans le présent rapport. Une version mise à jour a été publiée en 2024.

L'appareil de reconditionnement de la chambre intérieure responsable de l'imposition de la charge virtuelle du bâtiment est composé de deux serpentins de solution glycolée refroidie à l'aide d'un ventilateur de soufflage et un chauffage électrique de 15 kW pour contrôler précisément la température du thermomètre sec, comme il est indiqué dans la Figure 4(a). Des ventilateurs de circulation sont stratégiquement placés dans la chambre pour garantir que l'air est adéquatement mélangé et uniforme. Un humidificateur à vapeur avec une précision d'humidité relative à 1 % et un ventilateur de soufflage de 300 pi³/min, comme il est montré dans la Figure 4(b), et un déshumidificateur mécanique est utilisé pour contrôler le rapport de mélange.



(a)



(b)

Figure 4.(a) appareil de reconditionnement et station de mesure du débit d'air dans la chambre d'essai intérieure, et (b) humidificateur à vapeur avec ventilateur de soufflage installé dans la chambre d'essai intérieure

L'IEC est exploitée et surveillée depuis une station de contrôle de laboratoire central, comme il est indiqué dans Figure 5. L'émulateur de charge de bâtiment virtuel est programmé sur l'ordinateur du laboratoire, qui assure également la surveillance, l'enregistrement des données et la vérification de la convergence de la procédure SPE-07 pendant les intervalles d'essai.



(a)



(b)

Figure 5.(a) station de contrôle principal du laboratoire pour l'installation d'essai climatisée (IEC) et (b) émulateur de l'environnement du thermostat (EET) installé dans la zone principale du laboratoire

Un émulateur de l'environnement du thermostat (EET) conçu et construit par l'Université Purdue et montré dans Figure 5(b), a été utilisé pour contrôler précisément la température et la vitesse de l'air ressenties par le thermostat de l'USE. L'EET a été installé dans l'espace de laboratoire principal qui est maintenu à environ 23 °C tout au long de l'année. L'équipement de conditionnement et les contrôles intégrés dans l'EET garantissent que le thermostat qui y est abrité reçoit la même température de l'air de la pièce (TAP)² provenant du logiciel d'émulation de charge de bâtiment virtuel qui était maintenue dans la chambre d'essai intérieure et expérimentée par l'USE[7].

² La TAP est la température du thermomètre sec cible pour le système de reconditionnement de la chambre intérieure. C'est une valeur calculée par l'émulateur de charge de bâtiment virtuel en fonction des équations fournies dans la procédure SPE-07.

L'IEC a été conçu pour utiliser la méthode de l'enthalpie de l'écoulement d'air, comme il est décrit dans la norme ASHRAE 37 afin d'obtenir les mesures de capacité de l'USE du côté de l'air[6].

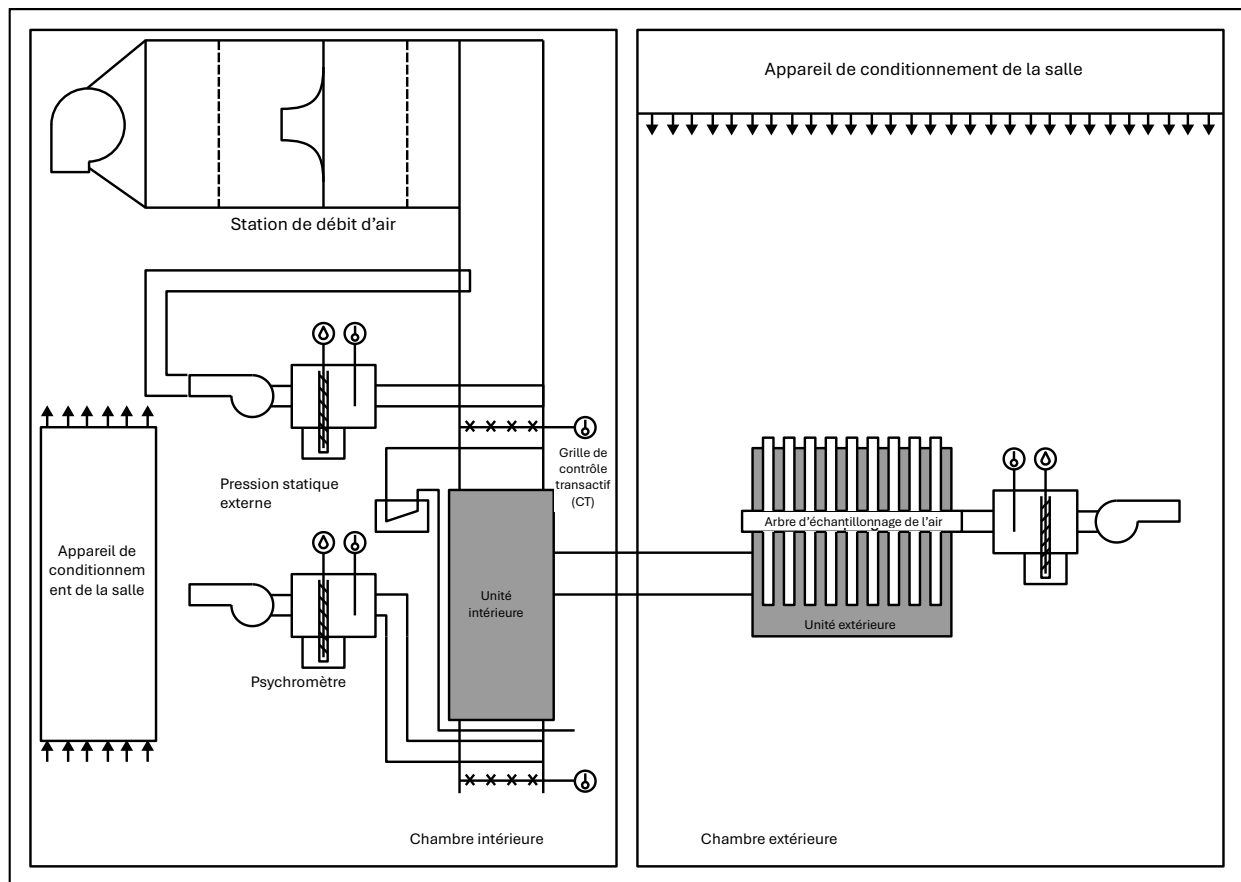


Figure 6. Configuration de l'enthalpie de l'écoulement d'air conforme à la norme ASHRAE 37 à l'IEC

Pour les essais de la procédure SPE-07, l'IEC a utilisé une thermopile composée de thermocouples de type T SLE, étalonné à $\pm 0,2$ °C, pour obtenir la différence de température entre les flux d'air de reprise et d'alimentation de l'unité intérieure. Il a également utilisé neuf thermocouples de type T SLE individuels, étalonnés à $\pm 0,1$ °C, pour mesurer la température du thermomètre sec de l'air de reprise. La grille de température de reprise a été utilisée comme « température intérieure » et a servi de base à l'algorithme de contrôle de la température de l'air de la pièce (TAP). Une série de sondes platines de classe A de 1/8 de pouce a également été placée autour de l'USE pour s'assurer que la température intérieure cible était cohérente.

Les températures du thermomètre mouillé pour les flux d'air de reprise et d'alimentation de l'unité intérieure ont été mesurées par des sondes platines de précision de classe A de 1/4 de pouce placées dans deux psychromètres aspirés, comme il est indiqué dans la Figure 7. La température du thermomètre mouillé de la chambre extérieure a été mesurée avec la même classe de sonde platine dans un psychromètre équipé d'un chauffage en ligne situé dans la zone principale du laboratoire. À des températures inférieures à -15 °C, des capteurs d'humidité et de température combinés situés dans les arbres d'échantillonnage de l'air ont été utilisés. Ces capteurs avaient une précision d'humidité relative à 0,8 % et de température à $\pm 0,1$ °C.

Les mesures de pression d'alimentation et de pression différentielle dans le plénum et la station de mesure de débit d'air ont été effectuées par des transducteurs de pression de haute précision avec une déviation maximale de $\pm 0,07$ %.

L'alimentation des unités intérieures des unités A et C ainsi que de l'unité extérieure de l'unité C a été mesurée par un analyseur de puissance avec une précision de lecture à $\pm 0,04$ % plus $\pm 0,04$ % de la plage. La puissance d'entrée de l'unité extérieure de l'unité A a été mesurée par un analyseur de puissance avec une précision de lecture à $\pm 0,015$ % plus $\pm 0,01$ % de la plage.

La température du thermomètre sec de l'unité extérieure a été mesurée par des sondes platines de classe A de 1/4 de pouce situées dans les arbres d'échantillonnage d'air placés autour de l'unité extérieure. Les arbres d'échantillonnage d'air ont été construits selon les spécifications de la norme ASHRAE-37.

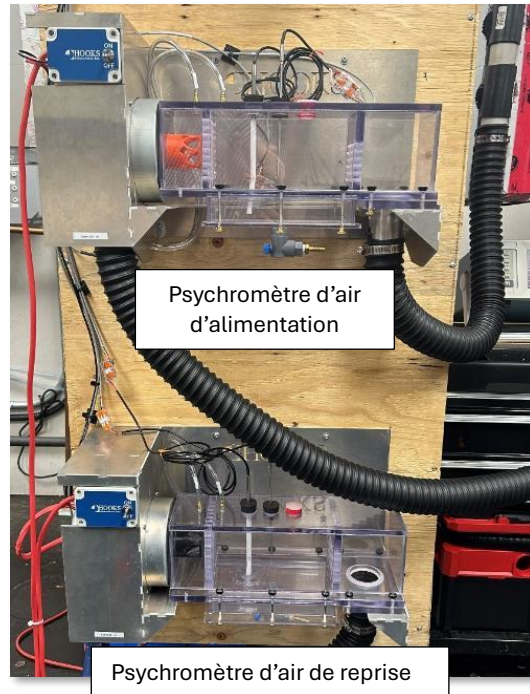


Figure 7. Psychromètres d'alimentation et de reprise dans la chambre d'essai intérieure

1.5. Aperçu de l'unité A

L'unité A était une thermopompe pour climat froid de deux tonnes à vitesse variable, avec une unité extérieure à évacuation verticale et une unité intérieure à conduit central à plusieurs positions.

Tableau 1. Données sur la performance de l'unité A – Addenda 1 de la procédure AHRI 210/240 2017

Capacité de refroidissement $Q_c(95) A_2$ [BTU/h]	REES	REE (A_2)	Capacité de chauffage $Q_h(47) H1_2$ [BTU/h]	CPSC (région IV)
24 200	19,00	14,50	23 600	10,50

L'unité intérieure, montrée dans Figure 9, a été installée dans une orientation horizontale à gauche en raison de restrictions de hauteur dans la chambre intérieure. Placer l'unité intérieure en orientation horizontale à gauche n'a pas exigé de modifications, sauf pour utiliser différents ports de drainage du condensat. Bien que les fabricants ne stipulent aucune différence dans le drainage selon l'orientation des unités de traitement d'air à plusieurs positions (à condition que des tubes de drainage appropriés soient installés à l'apex du serpent), il n'est pas déraisonnable de supposer que certaines différences dans le drainage du condensat ont pu se produire compte tenu des angles plus faibles par rapport à la direction de la gravité, comme il est indiqué dans la Figure 8. Ce changement d'orientation ne contrevenait pas à la procédure SPE-07, mais n'était pas conforme à l'orientation d'installation au laboratoire A. De plus, contrairement au laboratoire A, l'unité intérieure n'était pas équipée d'un plénum d'entrée à RNCan en raison de restrictions d'espace. Toutefois, un plénum d'entrée n'est pas requis par la procédure SPE-07 et RNCan était conforme à toutes les autres exigences concernant l'arbre d'échantillonnage de l'air de reprise, l'instrumentation et les cibles de pression statique externe.

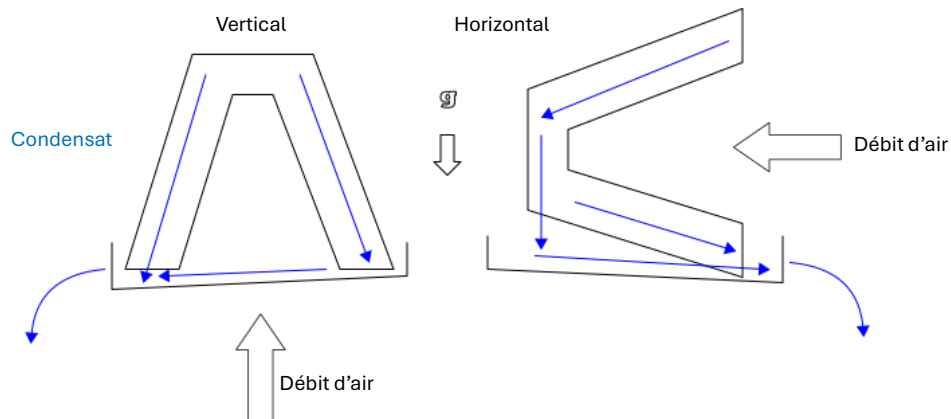


Figure 8. Drainage du condensat de l'unité intérieure pour orientation de déchargement verticale et horizontale

L'unité intérieure a déchargé dans un plénum qui a été construit selon la norme ASHRAE-37 et connecté à la station de mesure du débit d'air pour les mesures du côté de l'air. Le plénum et les sections de conduits interconnectés ont été isolés à R-20 avec des panneaux de mousse rigide et de natte isolante, ce qui était légèrement supérieur au minimum requis de R-19 stipulé dans la procédure SPE-07.

Le débitmètre de réfrigérant utilisé par le laboratoire A pour les mesures de débit massique de réfrigérant de l'unité A a été installé sur la conduite de liquide pour maintenir une chute de pression similaire, mais n'a pas été utilisé.

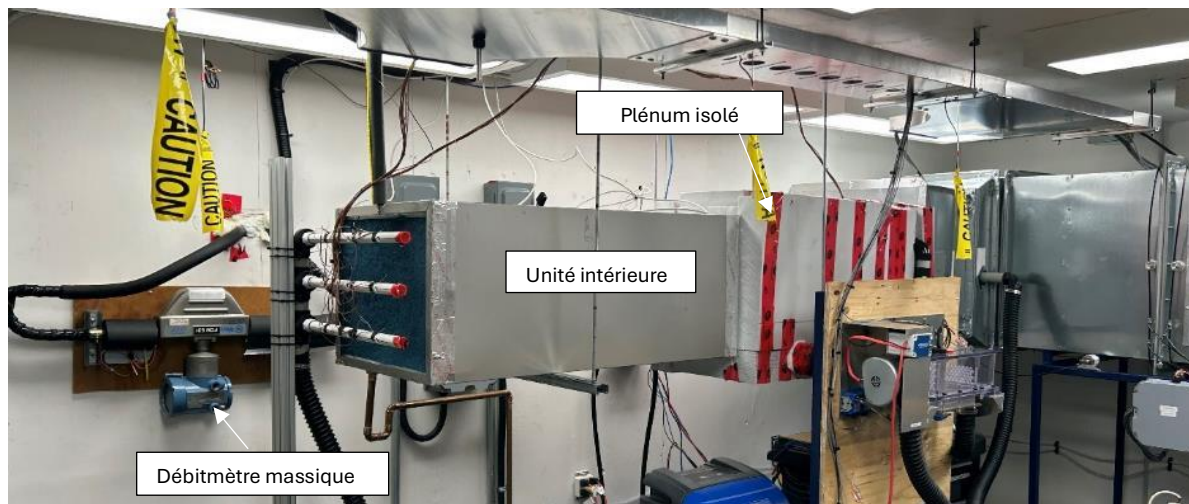


Figure 9. Unité intérieure de l'unité A installée dans la chambre d'essai intérieure

L'unité extérieure, montrée dans Figure 10, n'était pas surélevée pour un drainage adéquat du condensat en raison de restrictions de hauteur dans la chambre extérieure. Le ventilateur de l'unité extérieure était à 1,5 mètre du plafond de la chambre extérieure. Cela contrevient à l'exigence de la norme ASHRAE-37, qui stipule que toute surface de décharge d'air doit être à une distance d'au moins de 1,8 mètre de toute autre surface.

L'unité extérieure était entourée de quatre arbres d'échantillonnage d'air : un pour chaque surface d'échange de chaleur de l'unité extérieure. Les quatre arbres d'échantillonnage étaient connectés à une boîte de jonction commune où une seule mesure de température et d'humidité a été prise. Des capteurs supplémentaires, y compris des thermocouples et des sondes platines, ont été installés sur les arbres d'échantillonnage d'air pour vérifier la mesure effectuée par le capteur de température de la boîte de jonction. La boîte de jonction était connectée à un psychromètre situé dans l'espace principal du laboratoire et était étalonnée pour déplacer l'air à une vitesse de 900 pi/min, conformément aux recommandations du fabricant.

La conduite de réfrigérant a été installée et isolée pour correspondre à l'installation du laboratoire A. Toutefois, la longueur de la conduite de liquide utilisée au laboratoire A de 8 pieds n'a pas pu être reproduite dans les chambres, car la distance entre l'unité intérieure et l'unité extérieure était trop grande. En revanche, la longueur de la conduite de liquide a été augmentée à 13 pieds. La conduite supplémentaire a été isolée à l'aide de plusieurs couches de natte isolante R-20 pour minimiser la perte de chaleur vers l'environnement. De même, la conduite entre les chambres intérieures et extérieures était isolée avec plusieurs couches de natte isolante R-20 pour minimiser les pertes de chaleur, car les chambres intérieures et extérieures de l'IEC n'ont pas un mur mitoyen.

La même charge de réfrigérant de 12,07 lb a été utilisée même avec la longueur de conduite de liquide plus longue, car ce niveau de charge était adéquat pour une longueur de conduite de réfrigérant allant jusqu'à 80 pieds selon le fabricant. La conduite de vapeur mesurait 16 pieds et 6 pouces dans les deux installations d'essai.

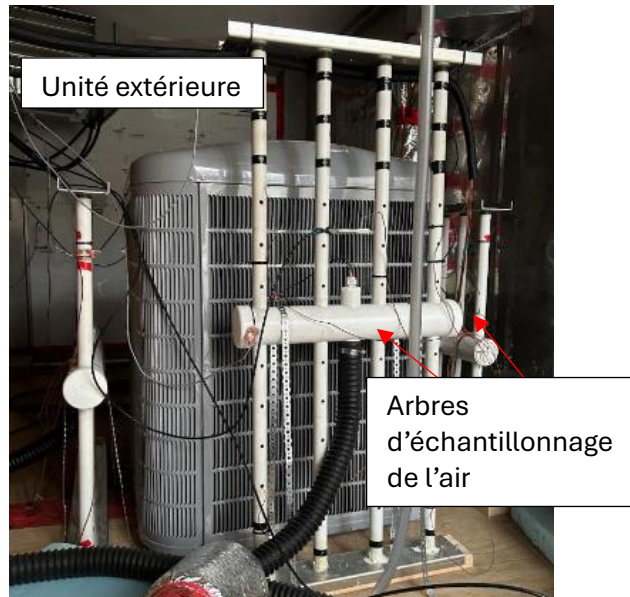


Figure 10. Unité extérieure de l'unité A installée dans la chambre d'essai extérieure avec les arbres d'échantillonnage de l'air

Le thermostat de l'unité A, montré dans Figure 11, était un thermostat communicant avec des capteurs de température et d'humidité relative intégrés. Il a été monté dans l'EET dans la zone principale du laboratoire et connecté à l'unité intérieure dans la chambre intérieure par un fil de communication. Le thermostat a été reçu du laboratoire A avec le débit d'air du ventilateur réglé à Élevé. Après consultation avec le laboratoire A, le thermostat a été réglé au mode de débit d'air « Auto » pour les essais de refroidissement et au mode de débit d'air « Élevé » pour les essais de chauffage, afin de correspondre aux réglages utilisés pour les mêmes essais effectués au laboratoire A.

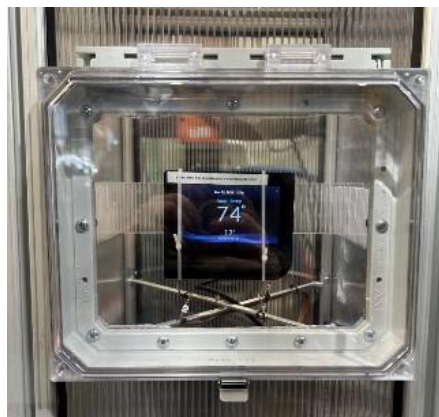


Figure 11. Thermostat communicant de l'unité A placée dans l'émulateur de l'environnement du thermostat

1.6. Aperçu de l'unité C

L'unité C était une thermopompe pour climat froid de deux tonnes à vitesse variable, avec une unité extérieure à évacuation horizontale et une unité intérieure à conduit central à plusieurs positions.

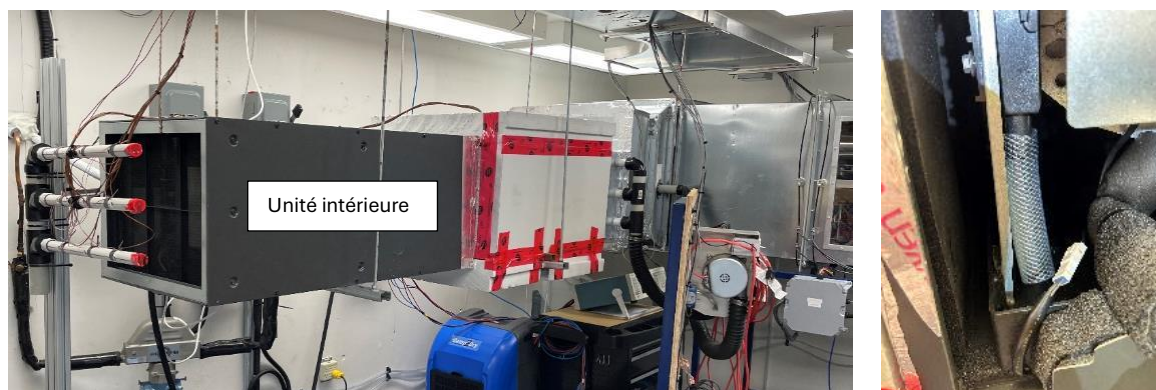
Tableau 2. Données sur la performance de l'unité C – AHRI 210/240 2024

Capacité de refroidissement $Q_C(95)$ A_{pleine} [BTU/h]	REES2	REE2 (A_{pleine})	Capacité de chauffage $Q_H(47)$ $H1_{\text{pleine}}$ [BTU/h]	CPSC2 (région IV)
18 000	18,70	12,40	21 600	9,20

L'unité intérieure, montrée dans Figure 12, a également été installée en position horizontale à gauche en raison de restrictions de hauteur, ce qui a exigé de retourner le serpentin A et le ventilateur de soufflage de 180 degrés. Deux tubes de décharge du condensat, montrés dans Figure 12, devaient également être installés à l'extrémité du serpentin A pour s'assurer que le condensat est adéquatement évacué du serpentin. L'unité intérieure a également été modifiée pour être alimentée indépendamment de l'unité extérieure avec un module fourni par le fabricant. Cela a été fait pour permettre des mesures de puissance indépendantes.

Comme cela a été fait pour l'unité A, l'unité intérieure a déchargé dans un plénum qui a été construit conformément à la norme ASHRAE-37 et connecté à la station de mesure du débit d'air pour les mesures du côté de l'air. Le plénum et les sections de conduits interconnectés ont été isolés à R-20 avec des panneaux de mousse rigide et de natte isolante, ce qui était légèrement supérieur au minimum requis de R-19 stipulé dans la procédure SPE-07.

Le débitmètre de réfrigérant utilisé par le laboratoire A (et sur le terrain pendant les essais de la phase 1) pour les mesures de débit massique de réfrigérant de l'unité C a été installé sur la conduite de liquide afin de maintenir une chute de pression similaire.



(a)

(b)

Figure 12.(a) unité intérieure de l'unité C dans la chambre d'essai intérieure et (b) tube de condensat attaché au serpentin A après le changement d'orientation de la décharge

L'unité extérieure, montrée dans Figure 13, a été surélevée par rapport au sol à l'aide d'un pied de climatiseur standard. L'unité a été placée dans la chambre pour s'assurer qu'elle respectait l'exigence minimale de distance de 1,8 m pour les surfaces de décharge d'air par rapport aux

autres surfaces. Toutefois, une surface d'entrée d'air devait être placée près du mur pour maintenir la même longueur de conduite de réfrigérant utilisée dans le laboratoire A. Cela contrevenait à l'exigence minimale de 0,9 m de la norme ASHRAE-37, une insuffisance de 0,3 m.

L'unité extérieure était entourée de deux arbres d'échantillonnage d'air : un pour chaque surface d'échange de chaleur de l'unité extérieure. Les deux arbres d'échantillonnage étaient connectés à une boîte de jonction commune où une seule mesure de température et d'humidité a été prise. Des capteurs supplémentaires, y compris des thermocouples et des sondes platines, ont été installés sur les arbres d'échantillonnage d'air pour vérifier la mesure effectuée par le capteur de température de la boîte de jonction. La boîte de jonction était connectée à un psychromètre situé dans l'espace principal du laboratoire et était étalonnée pour déplacer l'air à une vitesse de 900 pi/min, conformément aux recommandations du fabricant.

La longueur totale des ensembles de conduites de réfrigérant sur les conduites de liquides et de vapeur était la même que dans le laboratoire A. Toutefois, en raison de la taille et de l'emplacement des deux chambres, RNCan n'a pas pu égaler la longueur de l'ensemble de conduites de réfrigérant installé à l'extérieur par rapport à l'intérieur et a dû augmenter la quantité d'ensembles de conduites placées dans la chambre extérieure par rapport à la chambre intérieure. Par conséquent, la conduite qui aurait autrement été dans la chambre intérieure a été isolée à l'aide de natte isolante R-19. La charge de réfrigérant était la même que dans le laboratoire A, soit 3,00 lb de R410a.

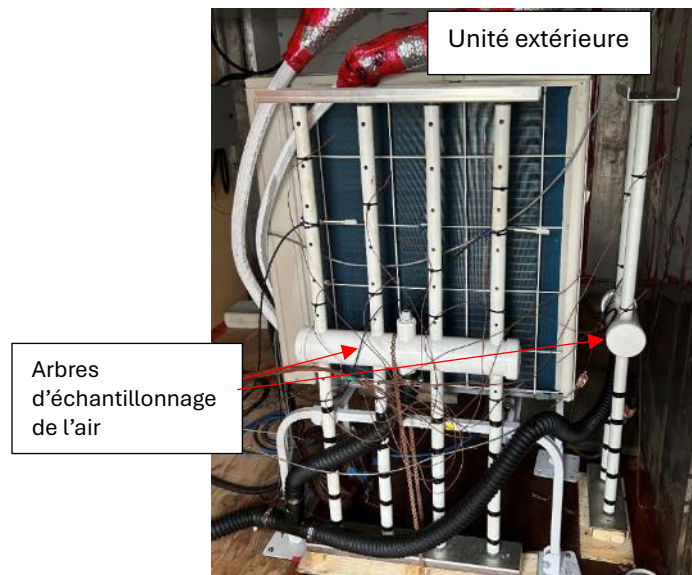


Figure 13. Unité extérieure de l'unité C dans la chambre d'essai extérieure avec les arbres d'échantillonnage de l'air

Le thermostat de l'unité C, montré dans Figure 14, était un thermostat communicant avec un capteur de température intégré. Il a été monté dans l'EET dans la zone principale du laboratoire et connecté à l'unité intérieure dans la chambre intérieure par un fil de communication. Le thermostat a été reçu du laboratoire A, et aucune modification n'a été apportée.



Figure 14. Thermostat communicant de l'unité C dans l'émulateur de l'environnement du thermostat

2.0. Méthodologie

La procédure SPE-07 est une méthode d'essai fondée sur la charge qui utilise une séquence de charges de chauffage et de refroidissement simulées imposées dans la chambre psychrométrique intérieure. Les charges « virtuelles » simulées sont contrôlées par le logiciel qui fait fonctionner la chambre d'essai, une configuration également appelée un « émulateur » de charge. Les charges sont ajustées en fonction de chaque condition de température extérieure pour représenter un besoin de chauffage ou de refroidissement approprié à cette température, pour un bâtiment résidentiel type dans lequel une thermopompe de cette taille serait installée. Le système mis à l'essai est configuré pour chauffer ou refroidir la chambre intérieure en utilisant ses propres commandes en réponse aux charges simulées, tandis que sa capacité de chauffage ou de refroidissement et son apport en énergie sont mesurés en temps réel.

À chaque condition d'essai indiquée dans le Tableau 3 et le Tableau 4, la température de la pièce extérieure est maintenue constante, tandis que l'équipement de reconditionnement de la pièce intérieure est programmé pour répondre à la performance actuelle du système mis à l'essai. Le modèle de bâtiment virtuel compare la capacité de chauffage ou de refroidissement de l'USE à la perte de chaleur cible ou le gain de refroidissement et ajuste les conditions de la chambre intérieure pour tenir compte de la différence. Par exemple, pendant un essai de chauffage, si la capacité de l'équipement est inférieure à la charge, la température de la pièce diminuera lentement, comme cela se produirait dans un bâtiment réel. Cela permet au thermostat de l'unité mis à l'essai de détecter cette condition et d'augmenter sa capacité en réponse. La charge du bâtiment virtuel comprend une durée pour la capacité de masse réaliste, qui ralentit la réponse de la température de la pièce, aide à stabiliser le fonctionnement pendant l'essai et élimine la capacité de la chambre d'essai de la réponse.

Tableau 3. Conditions de la salle d'essai visée par la procédure SPE-07 pour la série d'essais de classement du SCOP_c

	Conditions d'essai humides			Conditions d'essai sèches		
	Température du thermomètre sec extérieure [°C]	Température du thermomètre sec intérieure [°C]	Rapport de mélange intérieur [-]	Température du thermomètre sec extérieure [°C]	Température du thermomètre sec intérieure [°C]	Rapport de mélange intérieur [-]
CA	S.O.	23,33	0,010	45	26,11	0,087
CB	40			40		
CC	35			35		
CD	30			30		
CE	25			25		

Tableau 4. Conditions de la salle d'essai visée par la procédure SPE-07 pour la série d'essais de classement du SCOP_H

	Conditions extérieures sur le continent		Conditions extérieures en mer		Conditions intérieures	
	Température du thermomètre sec [°C]	Rapport de mélange [-]	Température du thermomètre sec [°C]	Rapport de mélange [-]	Température du thermomètre sec [°C]	Rapport de mélange [-]
HL	TBR		S.O.	S.O.	21,1	0,009 2 (max.)
HB	-15	0,000 8				
HC	-8,3	0,001 3	S.O.	S.O.		
HD	1,1	0,003 1	1,1	0,003 5		
HE	8,3	0,004 2	S.O.	S.O.		
HF	12,2	0,004 5	S.O.	S.O.		

L'équipement mis à l'essai est donc soumis à des conditions très représentatives du fonctionnement dans le monde réel, tout en réagissant à l'aide de ses commandes natives. En revanche, dans les essais de classement traditionnels, les pièces intérieures et extérieures sont maintenues à des conditions fixes, et les débits du compresseur et du ventilateur sont verrouillés en fonctionnement à l'état stable en utilisant des modes d'essai exclusifs fondés sur le choix du fabricant, dans les paramètres établis par la procédure pour chaque condition d'essai. Pendant les essais à vitesse fixe, la logique des commandes natives de l'unité est complètement contournée, et dans certains cas, le compresseur et le ou les ventilateurs peuvent fonctionner à des vitesses qui ne sont pas disponibles pendant le fonctionnement sous les séquences de contrôle normales du système. De plus, les essais de la procédure SPE-07 intègrent des opérations de dégivrage pour le chauffage et le cyclage du compresseur dans des conditions de faible charge pour le chauffage et le refroidissement dans tous les essais, au lieu de tenir compte de ces effets à l'aide de rajustements mathématiques. L'expérience a montré que le comportement de certaines unités (et leur efficacité nominale) peut varier considérablement entre les essais fondés sur la charge et les essais à vitesse fixe[8] [9] [10].

Dans le processus de calcul normal de la procédure SPE-07, les résultats des essais sont schématisés dans un ensemble de modèles climatiques fondés sur des compartiments (tranches de plages de température extérieure) pour créer un ensemble de classements saisonniers pour huit climats de chauffage et sept climats de refroidissement. Le SCOP_H et le SCOP_C présentés dans le présent rapport ont été calculés à l'aide de la feuille de calcul modèle de déclaration disponible dans le cadre de la procédure CSA SPE-07:23.

2.1. Évaluation des critères de convergence

Au cours de chaque condition d'essai, une série de critères est évaluée afin de déterminer le moment auquel les résultats ont été suffisamment stables pour permettre le calcul de l'efficacité pour cette condition d'essai et passer à la condition d'essai suivante. Les critères sont généralement des évaluations de convergence, montrant que le CP est cohérent au fil du temps,

et ils varient selon un certain nombre de paramètres qui sont décrits dans les sections 2.1.1 et 2.1.2. Dans chaque cas, si la convergence est atteinte ou si la procédure indique autrement, la capacité nette, l'apport en énergie et les conditions intérieures et extérieures sont enregistrés pour la période précisée, et le CP est calculé comme le rapport de la capacité par rapport à l'apport. Si la température du thermomètre sec intérieure dépasse une plage précisée pendant une période déterminée, l'unité est considérée comme étant chargée au-delà de sa capacité à vitesse variable, et l'essai est redémarré en tant qu'essai à « pleine charge » avec des conditions de salle intérieure fixes et l'unité fonctionnant à vitesse maximale sous ses propres contrôles.

2.1.1. Convergence de l'essai de classement de refroidissement

Les critères suivants régissent la convergence des conditions d'essai de refroidissement. L'évaluation des critères dépend d'abord des températures du thermomètre sec extérieur et intérieur et du rapport de mélange intérieur se situant dans les tolérances autorisées pendant un minimum de 15 minutes dans les conditions d'essai données.

2.1.1.1. Critère 1 (fonctionnement à charge partielle, vitesse variable)

Si le système mis à l'essai fonctionne en mode « vitesse variable régulière » (la puissance minimale de l'unité extérieure n'est pas inférieure à 80 % de la puissance maximale, et l'unité ne s'arrête pas), la température du thermomètre sec intérieure et le CP mesuré sont évalués de manière continue sur trois périodes successives de 20 minutes. La convergence est atteinte lorsque le CP des périodes 2 et 3 reste dans les limites de 1 % du CP des périodes 1 et 2 respectivement, et que la température moyenne du thermomètre sec intérieure (qui devrait varier en raison de la nature de la charge du bâtiment virtuel) sur les trois périodes n'est pas supérieure à 1,11 °C par rapport à la valeur cible indiquée dans le Tableau 3.

2.1.1.2. Critère 2 (fonctionnement à charge partielle, cycle de marche et d'arrêt)

Si le système mis à l'essai fonctionne en mode de « cycle régulier » (le compresseur s'active et s'arrête pour des temps de cycle totaux qui ne varient pas de plus de $\pm 20\%$), la température du thermomètre sec intérieure et le CP mesuré sont évalués de manière continue sur deux cycles de marche et d'arrêt successifs (ou plusieurs cycles, au besoin, pour deux périodes successives d'au moins 20 minutes). La convergence est atteinte lorsque le CP des deux cycles (ou périodes de plusieurs cycles) reste dans les limites de 1 % et que la température moyenne du thermomètre sec intérieure au cours des deux périodes n'est pas supérieure de plus de 1,11 °C à la valeur cible indiquée dans le Tableau 3.

2.1.1.3. Critère 3 (fonctionnement à pleine charge)

Si la température moyenne du thermomètre sec intérieure demeure plus de 1,11 °C plus élevée que la valeur cible indiquée dans le Tableau 3 (évaluée sur une moyenne mobile de 15 minutes) pendant 90 minutes, la condition d'essai est considérée comme étant au-dessus de la capacité de l'unité, et la condition d'essai est redémarrée en tant qu'essai à pleine charge. Tous les essais ultérieurs dans des conditions de charge plus élevées sont effectués uniquement en tant qu'essais à pleine charge. Dans le cas d'un essai à pleine charge, la convergence est atteinte

lorsque deux périodes successives (mobiles) de 20 minutes ont des CP mesurés qui restent dans les limites de 1 %.

2.1.1.4. Essai de 4 h (CE et comportement irrégulier du système)

Si les autres critères d'essai de refroidissement ne sont pas respectés, la capacité nette, l'apport d'énergie et les conditions intérieures et extérieures sont enregistrés sur une période de quatre heures, indépendamment du comportement de modulation ou de cyclage. Le CP est calculé comme le rapport de la capacité par rapport à l'apport sur l'ensemble de la période. La condition d'essai CE (la charge la plus basse) est toujours évaluée en utilisant ce critère, peu importe le comportement du système.

2.1.2. Convergence de l'essai de classement de chauffage

Les critères suivants régissent la convergence des conditions de l'essai de chauffage. L'évaluation des critères dépend d'abord des températures du thermomètre sec extérieur et intérieur et du rapport de mélange extérieur se situant dans les tolérances autorisées pendant un minimum de 15 minutes dans les conditions d'essai données.

2.1.2.1. Critère 1 (fonctionnement à charge partielle, vitesse variable)

Si le système mis à l'essai fonctionne en mode « vitesse variable régulière », la température du thermomètre sec intérieure et le CP mesuré sont évalués de manière continue sur trois périodes de 20 minutes successives où aucun dégivrage ne se produit. La convergence est atteinte lorsque le CP des périodes 2 et 3 reste dans les limites de 1 % du CP des périodes 1 et 2 respectivement, et que la température moyenne du thermomètre sec intérieure (qui devrait varier en raison de la nature de la charge du bâtiment virtuel) sur les trois périodes demeure à cette valeur qui n'est pas inférieure à 1,11 °C par rapport à la valeur cible indiquée dans le Tableau 4.

2.1.2.2. Critère 2 (fonctionnement à charge partielle, cycle de marche et d'arrêt)

Si le système mis à l'essai fonctionne en mode de « cycle régulier », la température du thermomètre sec intérieure et le CP mesuré sont évalués de manière continue sur deux cycles de marche et d'arrêt successifs (ou plusieurs cycles, au besoin, pour deux périodes successives d'au moins 20 minutes) où aucun dégivrage ne se produit. La convergence est atteinte lorsque le CP des deux cycles (ou périodes de plusieurs cycles) reste dans les limites de 1 % et que la température moyenne du thermomètre sec intérieure au cours des deux périodes demeure à cette valeur qui n'est pas inférieure de plus de 1,11 °C par rapport à la valeur cible indiquée dans le Tableau 4.

2.1.2.3. Critère 3 (charge partielle, y compris l'opération de dégivrage)

Si un dégivrage se produit, le CP est évalué sur trois cycles complets de givrage et de dégivrage (qui durent chacun au moins 20 minutes). La convergence est atteinte lorsque le CP des cycles 2 et 3 reste dans les limites de 1 % du CP des cycles 1 et 2 respectivement, et que la température moyenne du thermomètre sec intérieure (qui devrait varier en raison de la nature de la charge du bâtiment virtuel) sur les trois cycles demeure à cette valeur qui n'est pas inférieure à 1,11 °C par

rapport à la valeur cible indiquée dans le Tableau 4. Si un seul dégivrage se produit et qu'un autre ne se produit pas dans les trois heures, ou pendant l'intervalle d'essai HE, les critères 1 ou 2 peuvent être utilisés avec la période de dégivrage unique exclue de la période évaluée.

2.1.2.4. Critère 4 (fonctionnement à pleine charge)

Si la température ambiante sèche moyenne reste plus de 1,11 °C en dessous de la valeur cible indiquée dans le Tableau 4 (évaluée sur une moyenne mobile de 15 minutes) pendant 90 minutes, ou pendant au moins deux cycles complets de givrage et de dégivrage, la condition d'essai est considérée comme étant au-dessus de la capacité de l'unité, et la condition d'essai est redémarrée en tant qu'essai à pleine charge. Tous les essais ultérieurs dans des conditions de charge plus élevées sont effectués uniquement en tant qu'essais à pleine charge. Dans le cas d'un essai à pleine charge, la convergence est atteinte lorsque deux périodes successives (mobiles) de 20 minutes ont des CP mesurés qui restent dans les limites de 1 %, ou si un dégivrage se produit, lorsque trois dégivrages successifs ont des CP mesurés qui restent dans les limites de 1 %.

2.1.2.5. Essai de 4 h (HF et comportement irrégulier du système, aucun dégivrage)

Si les autres critères d'essai de chauffage ne sont pas respectés et le dégivrage ne se produit pas, la capacité nette, l'apport d'énergie et les conditions intérieures et extérieures sont enregistrés sur une période de quatre heures, indépendamment du comportement de modulation ou de cyclage. Le CP est calculé comme le rapport de la capacité par rapport à l'apport sur l'ensemble de la période. La condition d'essai HF (la charge la plus basse) est toujours évaluée en utilisant ce critère, peu importe le comportement du système. Si, pendant l'essai HF, un cycle de dégivrage se produit, le cycle de dégivrage est exclu, et le temps est prolongé pour évaluer les quatre heures de fonctionnement complètes.

2.1.2.6. Essai de 6 h (HD et comportement irrégulier du système)

Si les autres critères d'essai de chauffage ne sont pas respectés et le dégivrage ne se produit pas, la capacité nette, l'apport d'énergie et les conditions intérieures et extérieures sont enregistrés sur une période de six heures, indépendamment du comportement de modulation ou de cyclage, sauf lorsque plusieurs dégivrages se produisent. Le cas échéant, la période d'évaluation n'inclut que les cycles complets de givrage et de dégivrage. Le CP est calculé comme le rapport de la capacité par rapport à l'apport sur l'ensemble de la période d'évaluation. La condition d'essai HD (la plus forte probabilité de dégivrage considérable) est toujours évaluée en utilisant ce critère, peu importe le comportement du système.

2.1.2.7. Essai de 7 h (comportement irrégulier du système, avec deux cycles de dégivrage et un troisième qui se produira probablement pendant l'heure qui suit)

Si, au cours de l'essai de six heures, deux cycles de dégivrage se sont produits et qu'il est évident qu'un troisième se produira probablement avant la limite de temps de sept heures, l'essai de six heures est prolongé d'une heure. Si le troisième cycle de dégivrage se produit d'ici là, il est inclus; s'il ne se produit pas, la période d'évaluation est limitée aux deux premiers cycles.

2.2. Modifications à la ligne de charge de la procédure SPE-07:23

Une caractéristique de la procédure d'essai SPE-07 qui a été modifiée pour les besoins de la présente étude est la ligne de charge, qui est la relation entre la température extérieure et la charge virtuelle du bâtiment. La procédure SPE-07 comprend plusieurs paramètres par défaut qui sont destinés à modéliser un bâtiment dans lequel le système mis à l'essai serait installé, à savoir :

- a) Les lignes de charge de chauffage et de refroidissement.
- b) La relation des lignes de charge avec la taille de l'équipement et entre elles.
- c) L'utilisation présumée de la constante de temps de masse thermique pendant les essais.
- d) Le rapport de chaleur sensible de l'équipement.

Ces paramètres doivent être normalisés pour une procédure d'essai et d'évaluation, mais ils ne correspondront jamais exactement à une maison réelle.

Avant les essais sur le terrain, les maisons d'essai ont été étalonnées pour être aussi proches que possible des paramètres de la procédure SPE-07 pour la ligne de charge de chauffage et la capacité de masse. Le comité consultatif technique a décidé que la meilleure façon de valider la méthode d'essai fondée sur la charge par rapport aux maisons réelles serait d'assurer la correspondance des charges mesurées dans les maisons pendant les essais sur le terrain, même si celles-ci différaient des hypothèses par défaut de la procédure SPE-07. C'est-à-dire que la priorité était de « mettre à l'essai la méthode d'essai » en fournissant la comparaison la plus équitable possible entre les essais sur le terrain et en laboratoire, au lieu de mettre à l'essai la pertinence des paramètres par défaut de la procédure SPE-07 pour l'ensemble des installations. Cela a été jugé particulièrement important pour les lignes de charge de refroidissement, qui (en raison de la dépendance des charges de refroidissement au rayonnement solaire) ne pouvaient pas être estimées pendant le processus d'étalonnage et qui ne devraient pas suivre les hypothèses concernant la relation entre les charges de conception de chauffage et de refroidissement utilisées dans le cadre de la procédure SPE-07.

Avant que les essais en laboratoire ne soient effectués, les données de terrain ont été analysées pour estimer les lignes de charge de chauffage et de refroidissement pour chaque maison. Figure 15 montre des exemples de données horaires pour l'un des systèmes pendant la saison de chauffage (a) et un autre pendant la saison de refroidissement (b). Les données ne s'inscrivent pas parfaitement dans un modèle linéaire en raison des nombreux transitoires qui touchent une maison d'une heure à l'autre. Parce qu'une ligne de charge comprend à la fois une pente et un point de charge nulle (essentiellement un point d'intersection avec l'axe x), ces données ont également été analysées pour estimer les deux. Par conséquent, les axes x dans la figure représentent une *différence* de température au lieu d'une température absolue, où le point zéro est de 16,7 °C dans le graphique (a) et de 15 °C dans le graphique (b), comme il est indiqué dans les étiquettes des axes. Parce que les contrôles de température des systèmes étaient réglés sur le terrain selon l'affichage des contrôles et non étalonnés pour inclure un décalage, le point de charge nulle variait d'un système à l'autre et entre le chauffage et le refroidissement.

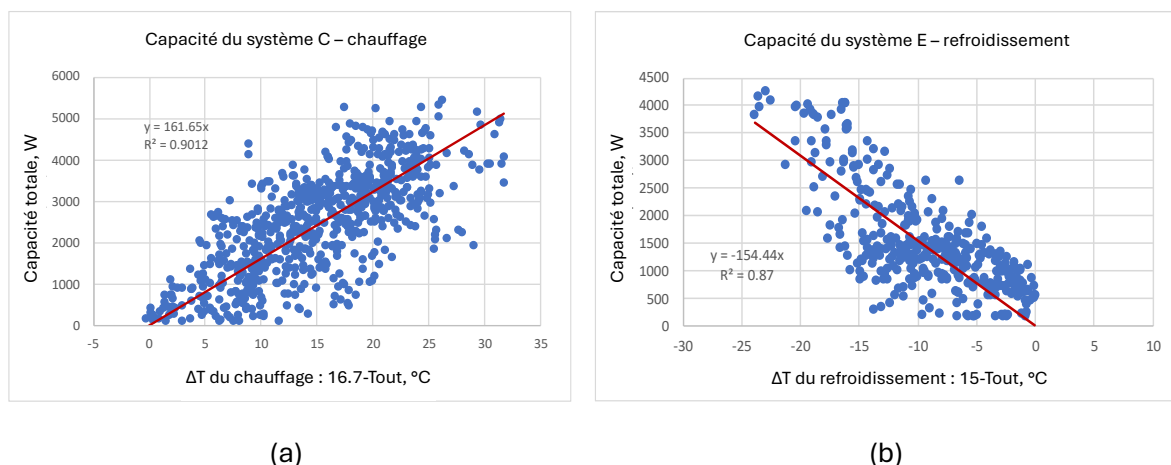


Figure 15. Régressions types de la ligne de charge pour le chauffage (a) et le refroidissement (b), à partir des données de terrain

La charge de conception de chauffage moyenne à -15°C pour les systèmes mis à l'essai dans les maisons d'essai était de 78 % de la charge de conception de la procédure SPE-07. La charge de refroidissement à 35°C était en moyenne de 99 % de la procédure SPE-07. La température moyenne à charge nulle pour le chauffage était de $15,7^{\circ}\text{C}$ (la procédure SPE-07 utilise $15,6^{\circ}\text{C}$). La moyenne pour le refroidissement était de $17,0^{\circ}\text{C}$ (la procédure SPE-07 utilise $19,4^{\circ}\text{C}$). Ces valeurs de point de charge de conception et de point de charge nulle pour chaque système précis ont été remplacées par les valeurs par défaut de la procédure SPE-07 pour chaque ensemble d'essais de chauffage et de refroidissement réalisés par le laboratoire A et RNCAN.

La capacité de masse pendant l'étude de terrain n'a pas pu être estimée à partir des données de fonctionnement de la thermopompe, donc les valeurs par défaut de la procédure SPE-07 ont été utilisées pour les essais en laboratoire. Les mesures originales des maisons pendant la période d'étalonnage étaient seulement légèrement inférieures aux valeurs de la procédure SPE-07, et une masse supplémentaire a été ajoutée aux maisons avant le fonctionnement de la thermopompe, donc les valeurs de capacité ne devraient pas entraîner une incidence considérable sur la comparaison. Enfin, le coefficient de chaleur sensible (CCS) du refroidissement pour les essais en laboratoire fondés sur la charge pour chaque unité a été fixé à la valeur moyenne de la période de refroidissement de l'étude de terrain pour cette unité. La moyenne des données de terrain pour toutes les maisons était un CCS de 0,85, et la valeur par défaut pour un climat humide dans le cadre de la procédure SPE-07 est de 0,8. Les modifications des valeurs par défaut de la procédure SPE-07 pour les unités A et C sont présentées dans la section 7.2.

3.0. Résultats

La portée des essais de reproductibilité réalisés dans cette étude actuelle était limitée aux essais de classement représentatifs d'une zone climatique 6 de la norme ASHRAE, excluant ainsi l'intervalle d'essai de refroidissement très chaud de CD_A (45 °C). Par conséquent, le laboratoire A et RNCAN ont tenté de réaliser une série complète d'essais d'apprentissage et d'essais d'évaluation sur les unités A et C et ont exclu les essais décrits dans la section B.2.4 de la procédure SPE-07 et au-delà, tels que l'essai de consommation d'énergie en veille, qui n'ont pas été réalisés au laboratoire A.

3.1. Unité A

3.1.1. Résumé de l'essai de classement de chauffage

Une série complète d'essais d'apprentissage et d'évaluation de chauffage de la procédure SPE-07 a été réalisée au laboratoire A et dans les installations de RNCAN sur l'unité A pour évaluer la reproductibilité. Les résultats de la capacité, de la puissance d'entrée, du CP et du CP saisonnier (SCOP) sont présentés ci-dessous, les résultats des essais du laboratoire A servant de référence par rapport auxquels les résultats de RNCAN sont comparés. Plusieurs essais sont analysés en détail pour appuyer la discussion sur les différences de comportement de l'équipement et pour examiner les limites de la reproductibilité. Les zones ombragées en vert dans les figures représentent la période de convergence dans les cas où les données sont présentées au-delà de la période de convergence. Les figures présentant les résultats de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure comportent une ligne bleue en pointillés pour la température du thermomètre sec intérieure cible et une ligne rouge en pointillés pour la température du thermomètre sec extérieure cible. Pour des résultats d'essai plus détaillés, voir la section 7.1.1.

Les essais de la série d'apprentissage sur le chauffage ont déterminé que les essais HF à HC étaient des essais à charge partielle, tandis que les essais HB et HL (TBR) étaient des essais à pleine charge. Cela était cohérent entre le laboratoire A et RNCAN, tout comme les points de réglage du thermostat, comme il est indiqué dans le Tableau 5. Les essais de la série d'apprentissage étalonnent également le point de réglage du thermostat requis pour chaque condition d'essai, afin de déterminer le réglage qui contrôle la température intérieure de la pièce le plus près possible de la température cible. Les points de réglage du thermostat de l'essai HC différaient entre les laboratoires, ce qui explique probablement la raison pour laquelle la température ambiante dans le laboratoire A pour l'essai HC était nettement plus basse que pour RNCAN : les points de réglage constants pour toutes les conditions d'essai dans le laboratoire A laissent entendre qu'ils n'ont peut-être pas consacré autant d'efforts à faire correspondre la température du thermomètre sec cible intérieure pour la condition de l'essai HC.

Tableau 5. Points de réglage du thermostat de l'unité A en mode chauffage pour RNCAN et le laboratoire A, comme il a été déterminé par les essais de la série d'apprentissage sur le chauffage

Essai	Température du thermomètre sec extérieure, °F (°C)	Contrôle de la température du thermomètre sec intérieure cible, °F (°C)	TSTAT, °F (°C) (RNCAN)	TSTAT, °F (°C) (laboratoire A)
HF_C	54 (12,2)	69 (20,6)	69 (20,6)	69 (20,6)
HE_C	47 (8,3)	69 (20,6)	68 (20)	68 (20)
HD_C	34 (1,1)	69 (20,6)	68 (20)	68 (20)
HC_C	17 (-8,3)	69 (20,6)	70 (21,1)	68 (20)
HB_C	5 (-15)	Max.	Max. (88 [31,1])	Max. (88 [31,1])
HL_C	-3 (-19,4)	Max.	Max. (88 [31,1])	Max. (88 [31,1])
HD_M	34 (1,1)	69 (20,6)	68 (20,6)	68 (20)

À la suite des essais de la série d'apprentissage sur le chauffage, les essais de classement de chauffage ont été réalisés dans l'ordre de la charge la plus basse à la charge la plus élevée. Les résultats de la capacité de chauffage présentés dans Figure 16 révèlent que les essais HF et HE avaient des capacités intégrées plus élevées à l'installation d'essai de RNCAN, l'essai HB avait une capacité intégrée plus faible, et les autres essais étaient plus cohérents. Par ailleurs, la consommation d'énergie intégrée de l'USE présentée dans la Figure 17 était systématiquement plus élevée dans l'installation d'essai de RNCAN pour tous les essais de classification, avec la déviation de l'essai HC par rapport aux essais au laboratoire A étant un cas isolé, le point de réglage du thermostat inférieur et la température du thermomètre sec intérieure plus basse étant probablement des facteurs contributifs. Les essais de classement résultants des CP montrés dans la Figure 18 révèlent que les résultats des essais HD sur le continent et en mer, HC et HB ont divergé de manière considérable entre les installations d'essai. Les essais de classification HF, HD sur le continent, HC et HB seront abordés plus en détail ci-dessous.

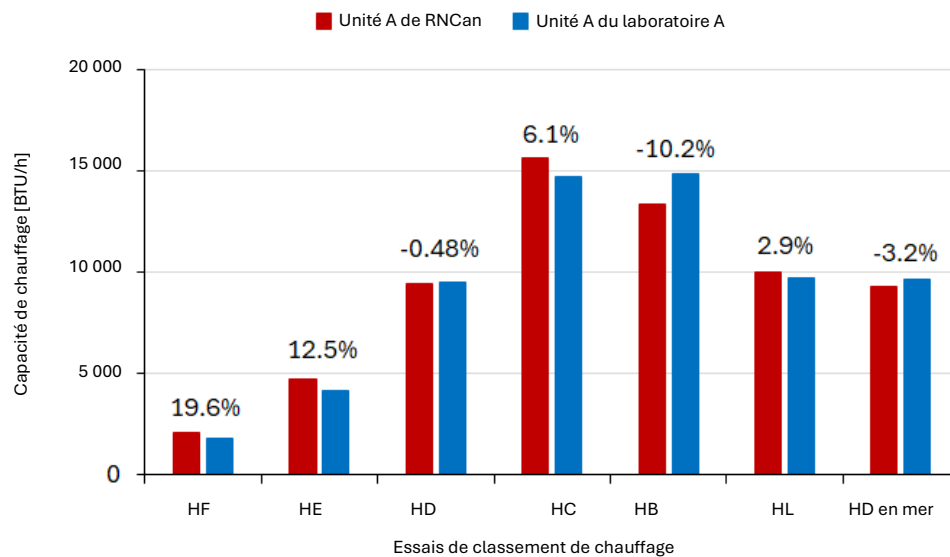


Figure 16. Capacité de chauffage de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A

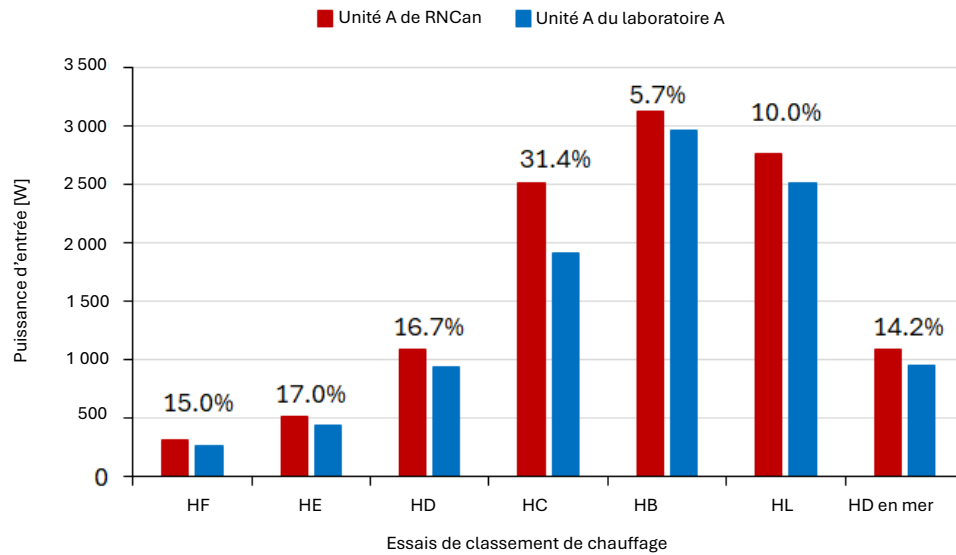


Figure 17. Puissance d'entrée de chauffage de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A

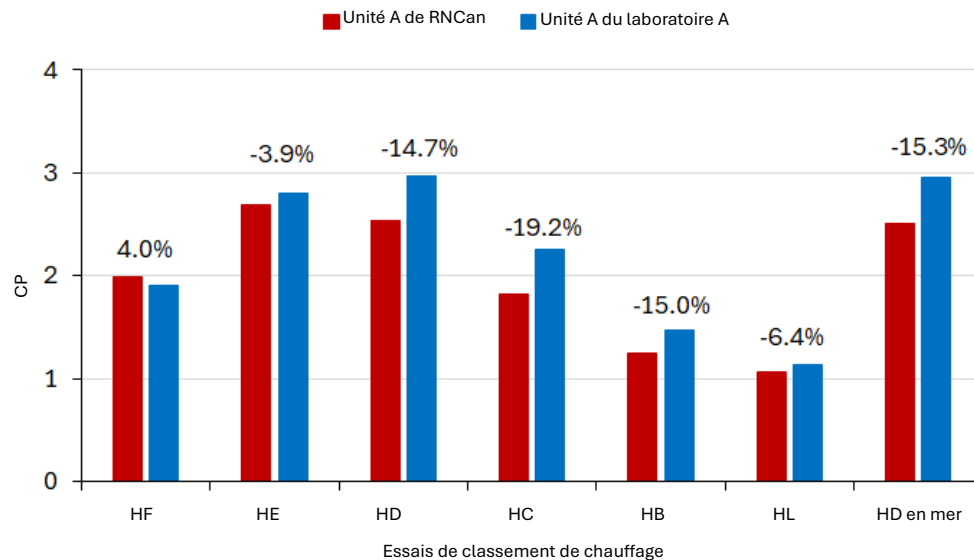


Figure18. CP de chauffage de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A

Enfin, les CP saisonniers de chauffage ($SCOP_H$) pour les compartiments de chauffage sont présentés dans la Figure 19 et le Tableau 6. La différence moyenne entre le laboratoire A et le $SCOP_H$ de RNCAN dans toutes les régions climatiques est de 8,8 %, avec un écart type de 3,6 %. Dans l'ensemble, cela montre une reproductibilité moyenne. Les régions subarctiques et très froides sont considérées comme « bonnes » en ce qui concerne la reproductibilité, tandis que le reste des régions est considéré comme « moyennes » pour utiliser la terminologie décrite dans le rapport AHRI de l'Université Purdue sur la répétabilité et la reproductibilité de la norme CSA EXP-07:19 (2022). [11]

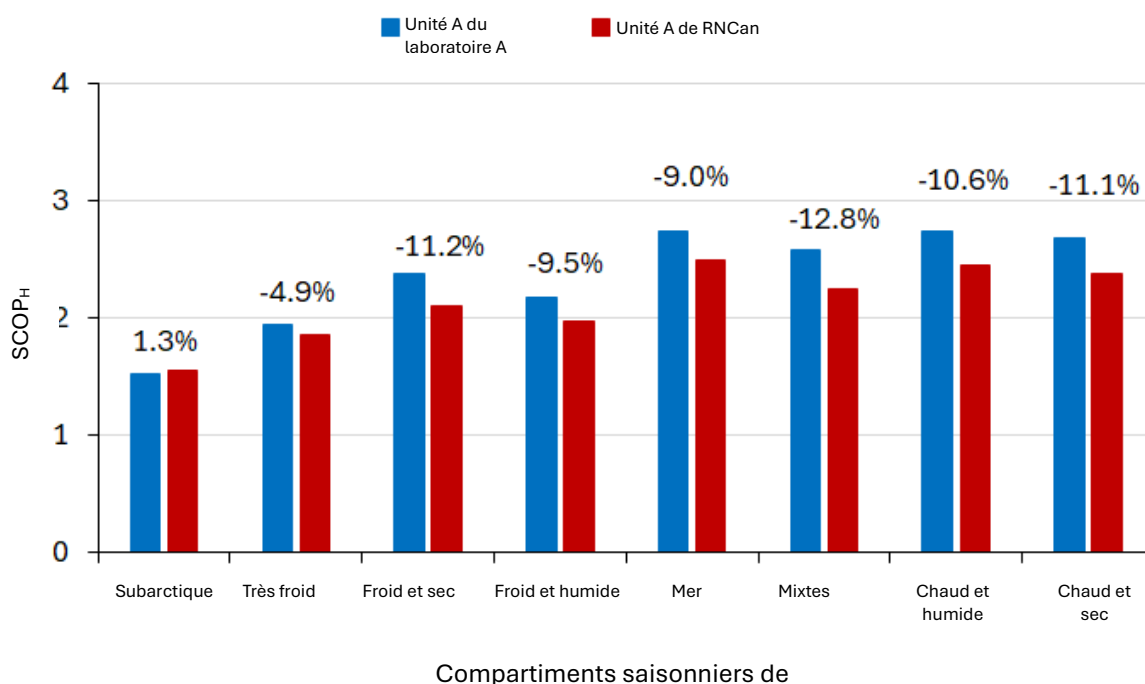


Figure 19. $SCOP_H$ de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A

Tableau 6. $SCOP_H$ de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A

	Subarctique	Très froid	Froid et sec	Froid et humide	Mer	Mixtes	Chaud et humide	Chaud et sec
Laboratoire A	1,53	1,95	2,38	2,18	2,74	2,59	2,74	2,68
RNCAN	1,55	1,85	2,11	1,97	2,49	2,25	2,45	2,38
$\Delta SCOP_H$ [%]	1,25	4,90	11,23	9,45	9,02	12,85	10,58	11,09

3.1.2. Résultats des essais de chauffage individuels

3.1.2.1. Intervalle d'essai de chauffage HF sur le continent (12,2 °C)

Figure 20 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement HF (12,2 °C) pour la capacité, la charge du bâtiment et la puissance d'entrée de l'USE à RNCAN et au laboratoire A. Cet intervalle d'essai était à charge partielle et a duré quatre heures, comme l'exige la procédure SPE-07. Les résultats démontrent la nature reproductible d'un intervalle fondé sur la charge. Deux courts cycles de marche ont été capturés à chaque installation d'essai avec des cycles d'arrêt relativement longs. L'unité A a augmenté sa capacité à environ 4 kW et sa consommation d'énergie d'entrée à 1 kW. La capacité de chauffage semblait augmenter plus lentement au laboratoire A qu'à RNCAN, possiblement en raison des différences dans l'instrumentation utilisée pour les mesures de capacité. Les débits d'air étaient également relativement similaires, soit d'environ 700 à 750 pi³/min pendant les cycles d'arrêt et de 400 à 450 pi³/min pendant les cycles de marche. La différence résultante dans le CP pendant cet intervalle était de 4,0 %.

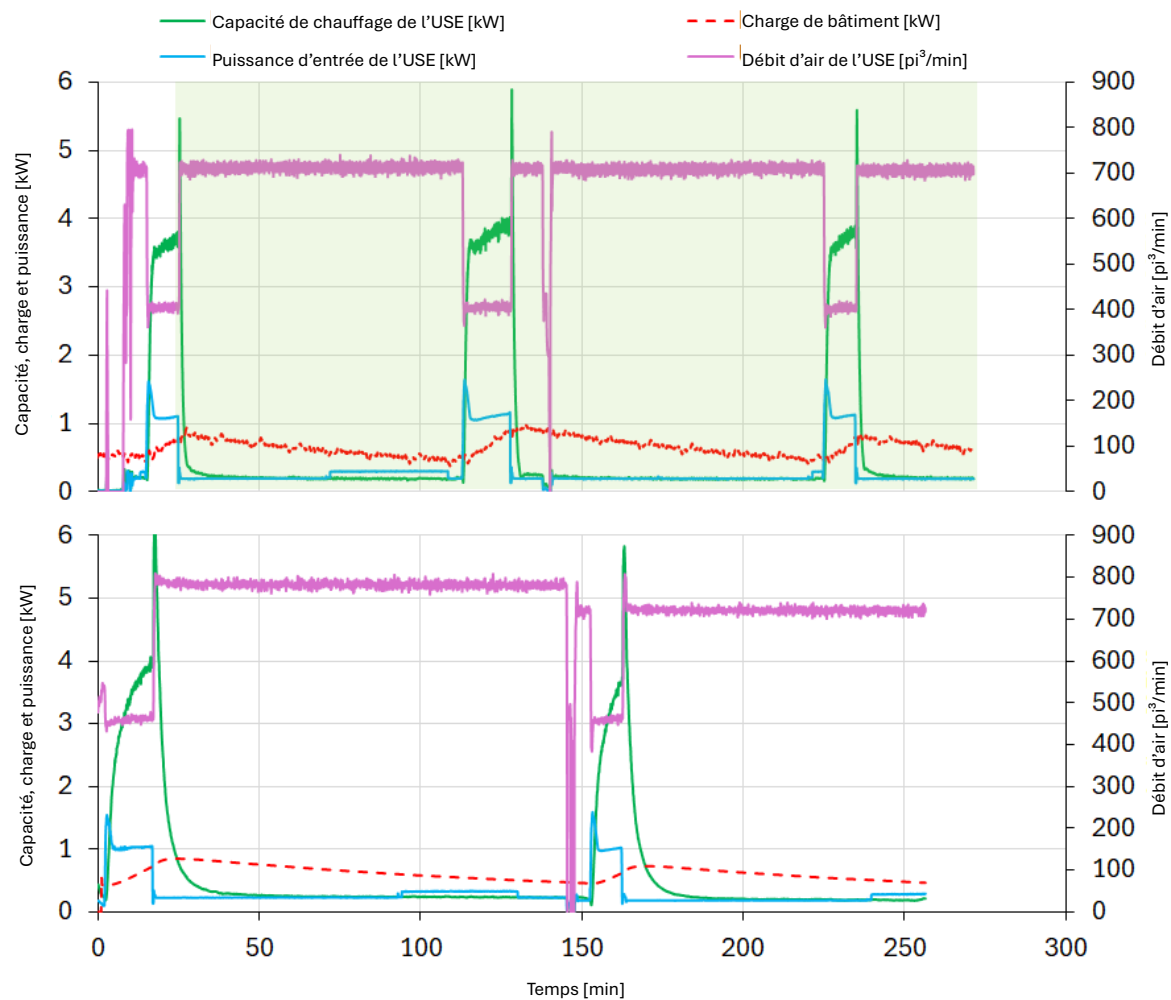


Figure 20. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HF sur le continent (12,2 °C)

Figure 21 montre le comportement de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure de l'intervalle d'essai HF à RNCAN et au laboratoire A. La température du thermomètre sec intérieure maintenue au laboratoire A était légèrement plus élevée qu'à RNCAN, ce qui pourrait être attribuable à une réponse dynamique différente du thermostat et de l'équipement pour cet intervalle. Il convient de noter que les résultats de l'intervalle d'essai ont été enregistrés à un intervalle de cinq secondes au laboratoire A, tandis que RNCAN a enregistré des données à un intervalle d'une seconde. Cela, ainsi que différents instruments de mesure de température, peut partiellement expliquer les pics arrondis de la température du thermomètre sec intérieur observés dans les données du laboratoire A, ainsi que les profils de capacité généralement « plus lisses ».

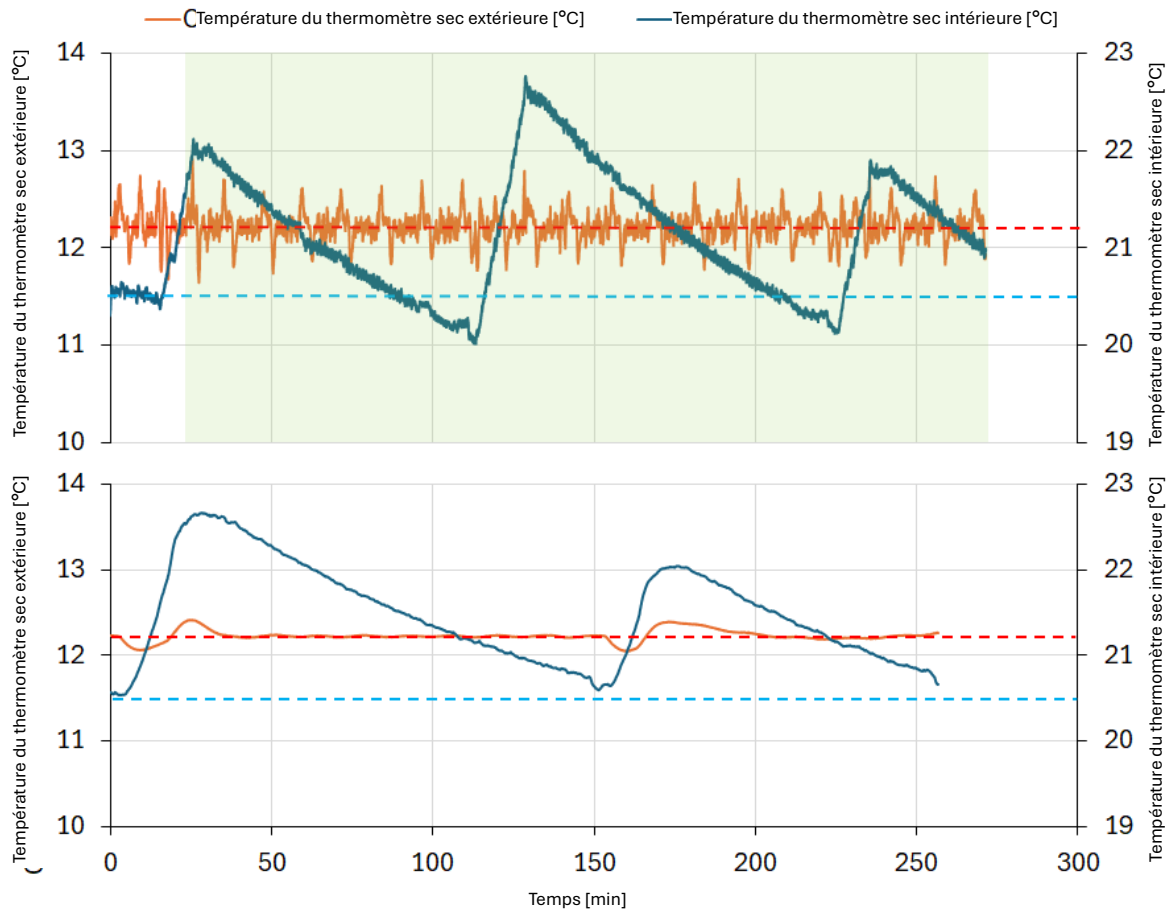


Figure 21. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HF sur le continent (12,2 °C)³

³ **Rappel.** Les zones ombragées en vert dans les figures représentent la période de convergence dans les cas où les données sont présentées au-delà de la période de convergence. Les figures présentant les résultats de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure comportent une ligne bleue en pointillés pour la température du thermomètre sec intérieure cible et une ligne rouge en pointillés pour la température du thermomètre sec extérieure cible.

3.1.2.2. Intervalle d'essai de chauffage HD sur le continent (1,1 °C)

Figure 22 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement HD sur le continent (1,1 °C) pour la capacité, la charge du bâtiment et la puissance d'entrée de l'USE à RNCan et au laboratoire A. Cet intervalle d'essai était à charge partielle et a duré six heures, comme l'exige la procédure SPE-07. Six cycles et une opération de dégivrage ont été observés dans les deux installations d'essai. La capacité de chauffage moyenne du cycle de MARCHE était de 6 à 7 kW pour les deux essais, avec des débits d'air étant en moyenne de 50 à 75 pi³/min plus élevés au laboratoire A. La consommation d'énergie d'entrée a également divergé légèrement entre les essais, RNCan observant environ 160 W de plus. Il convient de noter que bien que les deux essais aient connu une opération de dégivrage, les capacités de refroidissement pendant ces opérations de dégivrage n'ont pas été intégrées de la même manière. Cette situation est expliquée plus en détail dans la discussion sur l'intervalle d'essai HC ci-dessous. La puissance d'entrée plus élevée dans l'intervalle d'essai de RNCan a entraîné une réduction de 14,7 % du CP.

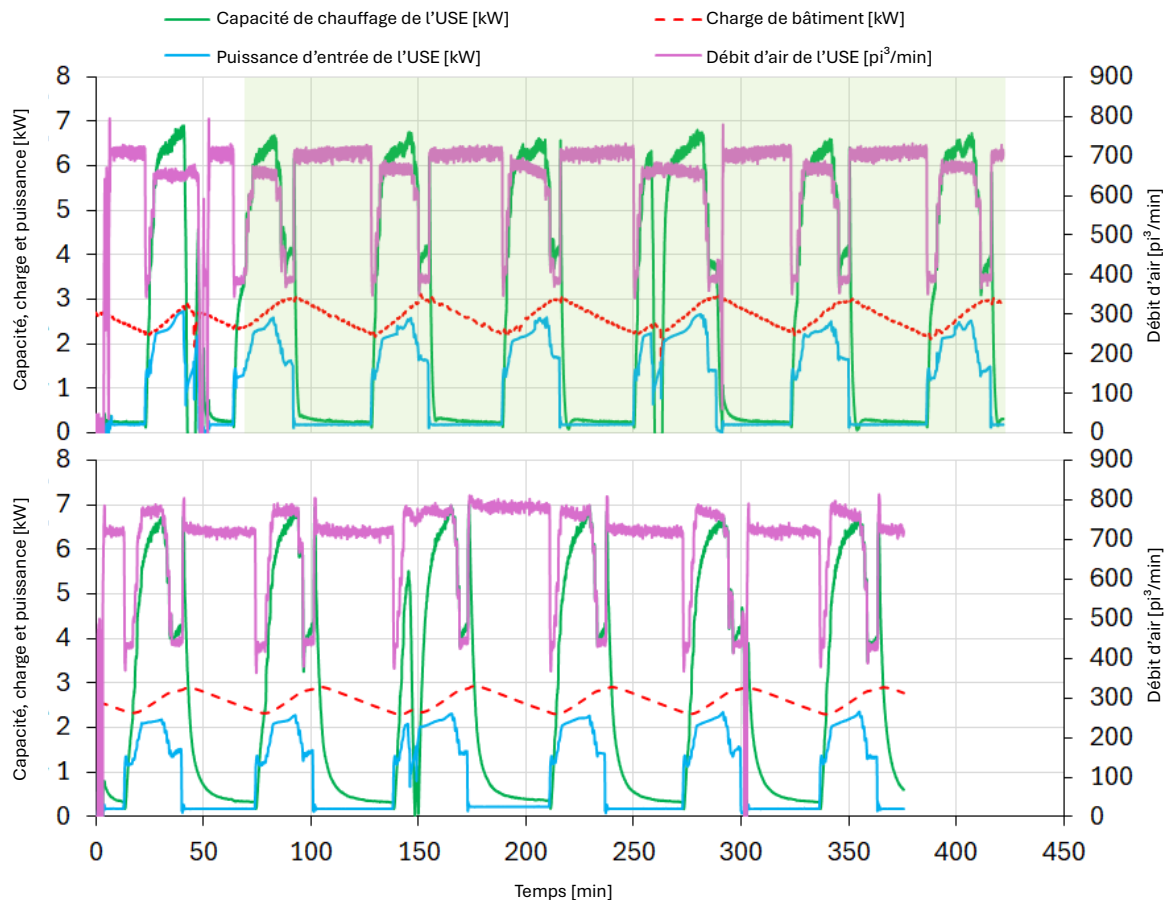


Figure 22. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HD sur le continent (1,1 °C)

Figure 23 montre le comportement de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure de l'intervalle d'essai HD sur le continent à RNCan et au laboratoire A. L'unité A a maintenu le point de réglage du thermostat souhaité de 20,5 °C dans les deux installations. Toutefois, comme cela avait été le cas pendant l'intervalle d'essai HF, l'unité A a été mise en marche à une température ambiante du thermomètre sec inférieure à RNCan, avec une température moyenne de début de cycle de 18 °C par rapport à 19 °C au laboratoire A. La température d'arrêt était la même dans les deux installations, soit environ 22 °C. On suppose que le thermostat de l'unité A a présenté une plus grande « zone morte » de thermostat pendant les essais à RNCan par rapport aux essais effectués au laboratoire A.

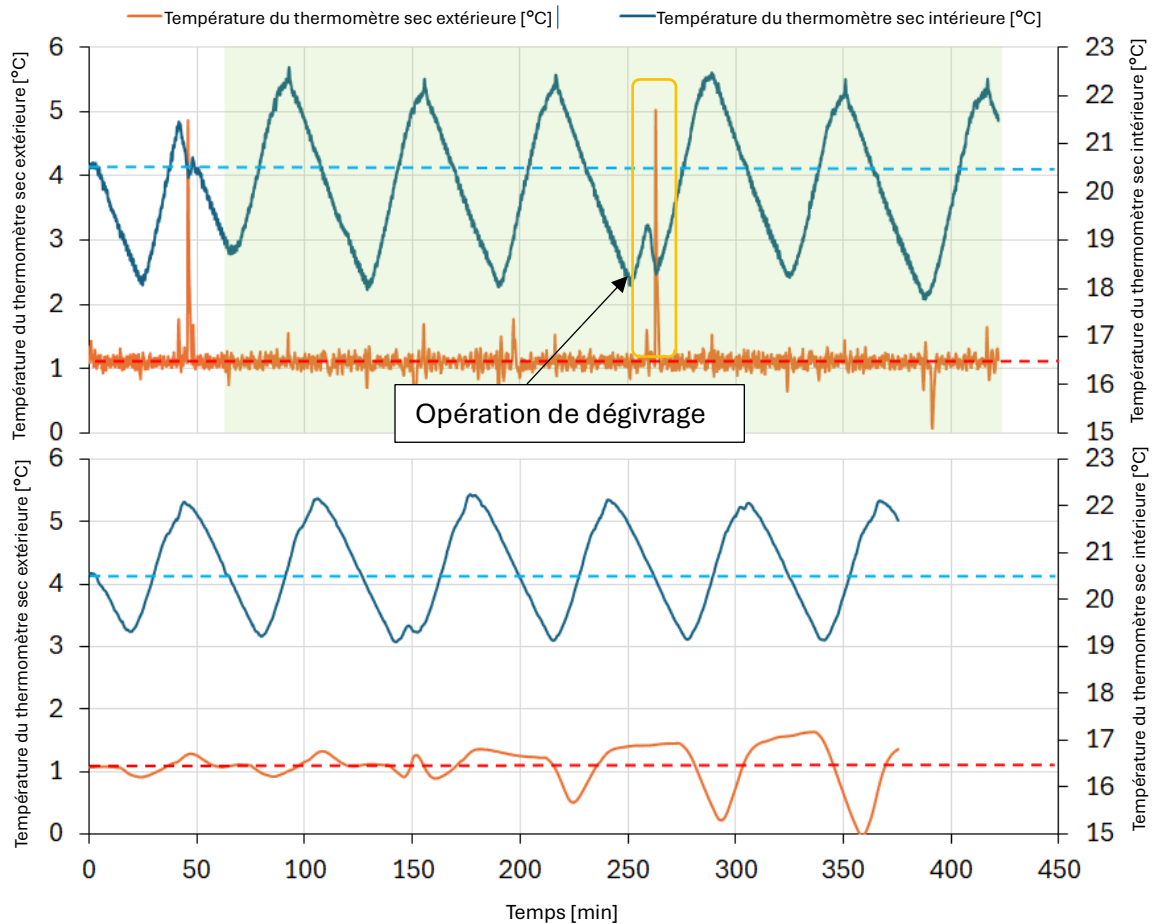


Figure 23. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HD sur le continent (1,1 °C)

3.1.2.3. Intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C)

Figure 24 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement HC (-8,3 °C) pour la capacité, la charge du bâtiment et la puissance d'entrée de l'USE à RNCAN et au laboratoire A. Cet intervalle d'essai était à charge partielle, mais l'opération irrégulière a empêché l'unité d'atteindre la convergence pendant l'intervalle d'essai, ce qui signifie que l'unité était en marche pendant six heures, comme l'exige la procédure SPE-07. Les deux installations ont observé un comportement cyclique, avec quatre opérations de dégivrage à RNCAN et deux au laboratoire A, et les débits d'air étant de 50 à 75 pi³/min plus élevés au laboratoire A. Toutefois, en raison d'un problème d'intégration de la capacité pendant le dégivrage, le CP a divergé de manière considérable entre les essais. En raison du fait que le ventilateur intérieur de l'unité A reste en marche pendant les opérations de dégivrage, une charge de refroidissement est introduite dans la chambre, ce qui entraîne une diminution rapide de la TAS, comme on peut le voir dans la température du thermomètre sec intérieure dans la Figure 25 pour RNCAN.

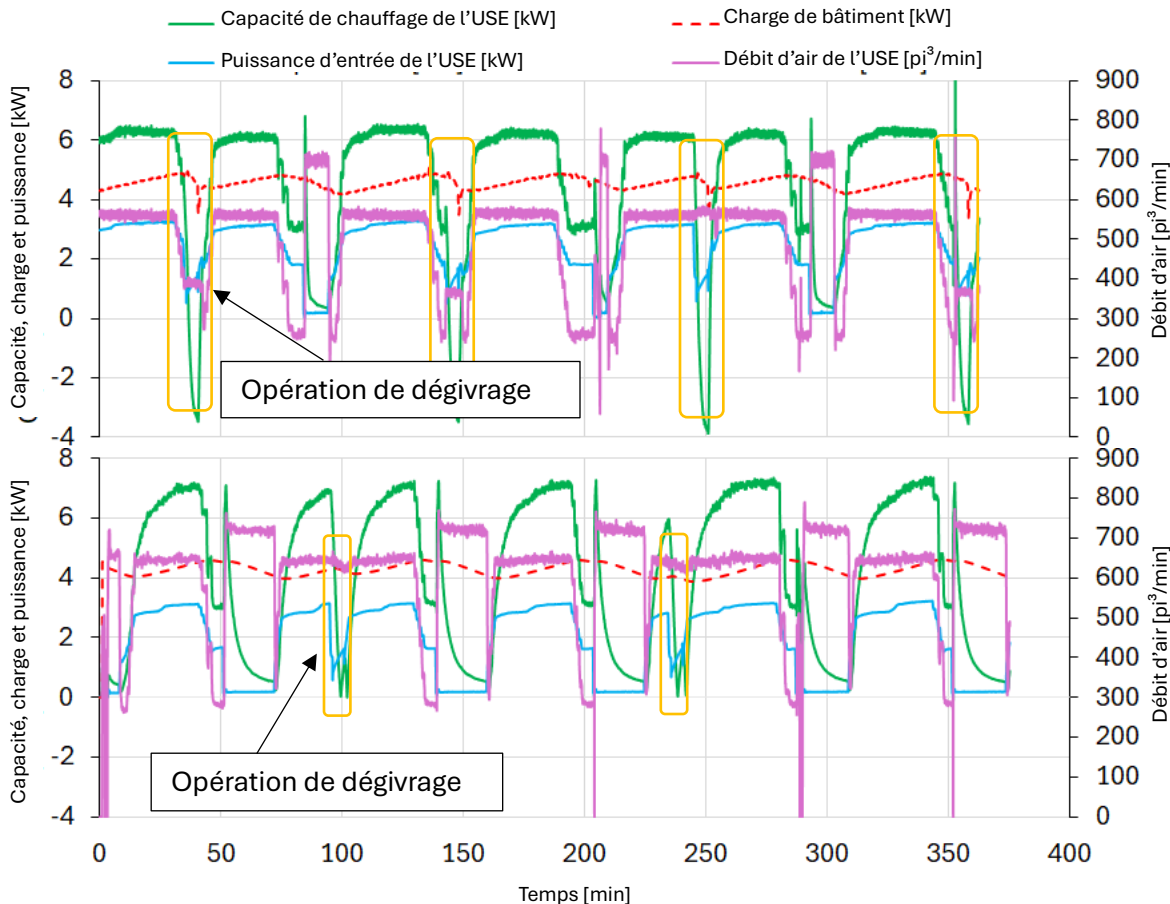


Figure 24. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C)

Cet « effet de refroidissement » n'a pas été inclus dans l'analyse du laboratoire A et la capacité de chauffage mesurée n'est jamais chutée au-dessous de 0 kW pendant une opération de dégivrage. Cela a mené à une divergence dans le CP de 19,2 %. De plus, le taux de récupération de la capacité de chauffage à RNCAN était plus rapide qu'au laboratoire A. Cela peut être attribuable à des différences d'instrumentation entre les laboratoires, le laboratoire A utilisant une sonde platine située dans un psychromètre aspiré pour mesurer la température du thermomètre sec, et RNCAN utilisant le réseau de thermocouples et la thermopile dans le flux d'air. Cela pourrait également être attribuable au thermostat détectant une plus grande chute de température pendant cette période à RNCAN et réagissant en augmentant la capacité plus rapidement.

L'unité A se comportait autrement de manière similaire entre les installations d'essai, fonctionnant à un intervalle semi-régulier et alternant entre des débits d'air élevés pendant les cycles d'arrêt et des débits d'air modulés pendant les cycles de marche. Le laboratoire A a observé des capacités de pointe plus élevées vers la fin des cycles avec une capacité de chauffage d'environ 7 kW, tandis que la capacité de chauffage n'a jamais dépassé 6,2 kW à RNCAN.

Figure 25 est un gros plan axé sur un cycle de dégivrage de chaque installation d'essai et indique la façon dont le laboratoire A a représenté la valeur absolue de la capacité de chauffage comme positive durant le cycle. Il y a des conséquences en aval de cette erreur dans la mise en œuvre de la charge du bâtiment virtuel au fil du temps (qui est ajustée en fonction de la capacité mesurée), de sorte que le signe inversé dans la capacité mesurée touche la réponse de la pièce émulée.

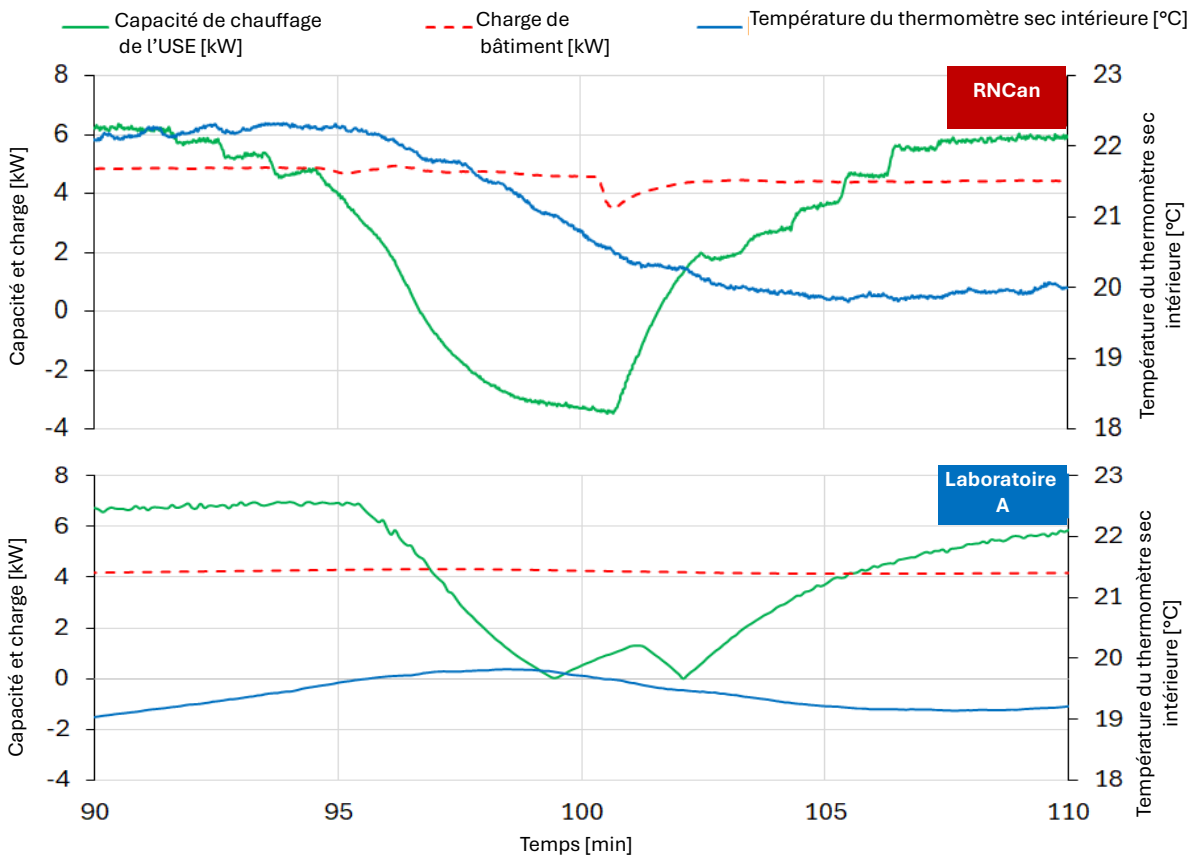


Figure 25. Opération de dégivrage de l'unité A pendant l'intervalle d'essai de classement HC

Figure 26 montre le comportement de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure de l'intervalle d'essai HC à RNCAN et au laboratoire A. Bien que les deux installations aient maintenu le point de réglage du thermostat intérieure à 20,5 °C, qui est dans des limites acceptables, l'unité A a maintenu une température moyenne légèrement plus élevée à RNCAN. La chambre extérieure de RNCAN a également connu des fluctuations de température plus élevées pendant les opérations de dégivrage, ce qui a entraîné des charges de bâtiment plus faibles pendant cette période, comme il est indiqué en jaune dans la Figure 24. Il est intéressant de noter que la tendance de températures de fin de cycle similaires observée dans d'autres conditions d'essai n'est pas maintenue dans l'intervalle d'essai HC, l'USE terminant son cycle à environ 22 °C à RNCAN, et 21,5 °C au laboratoire A.

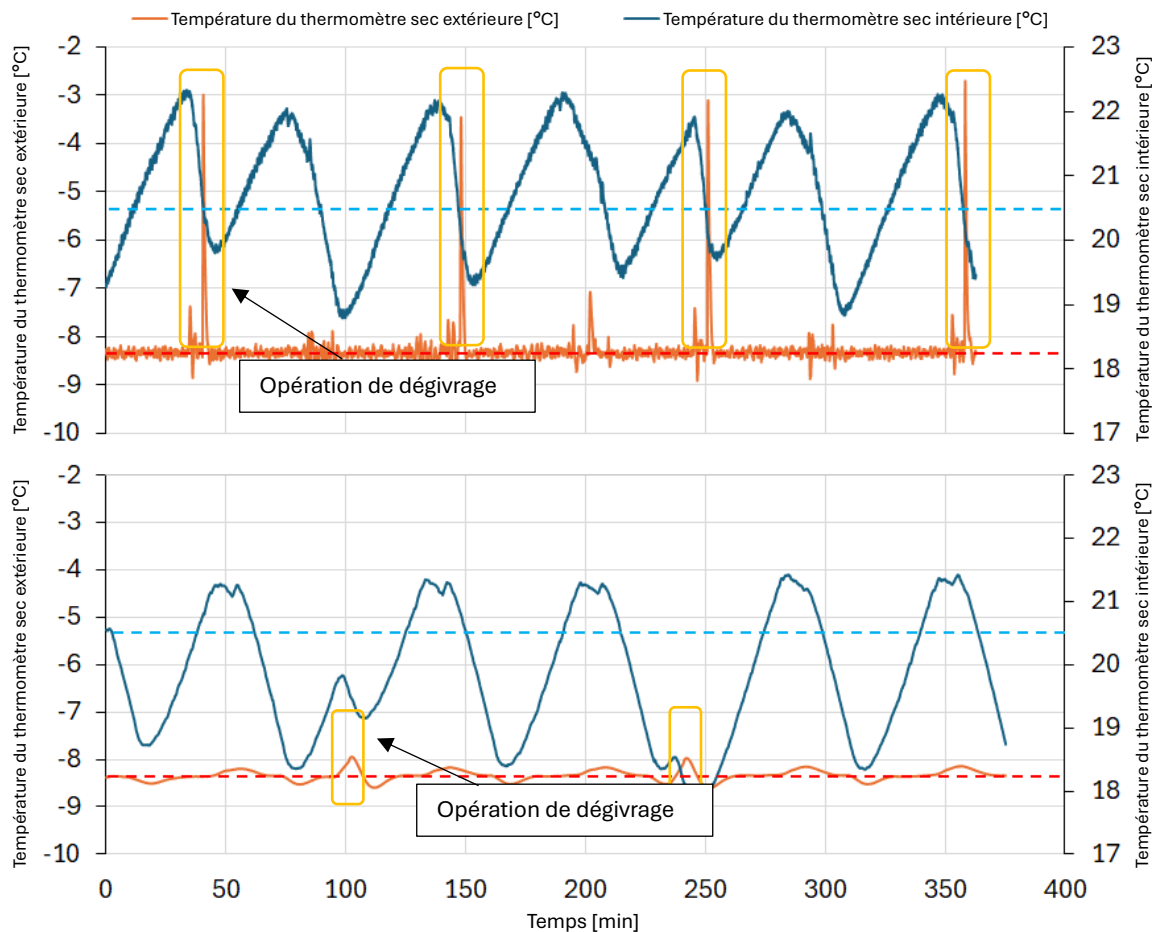
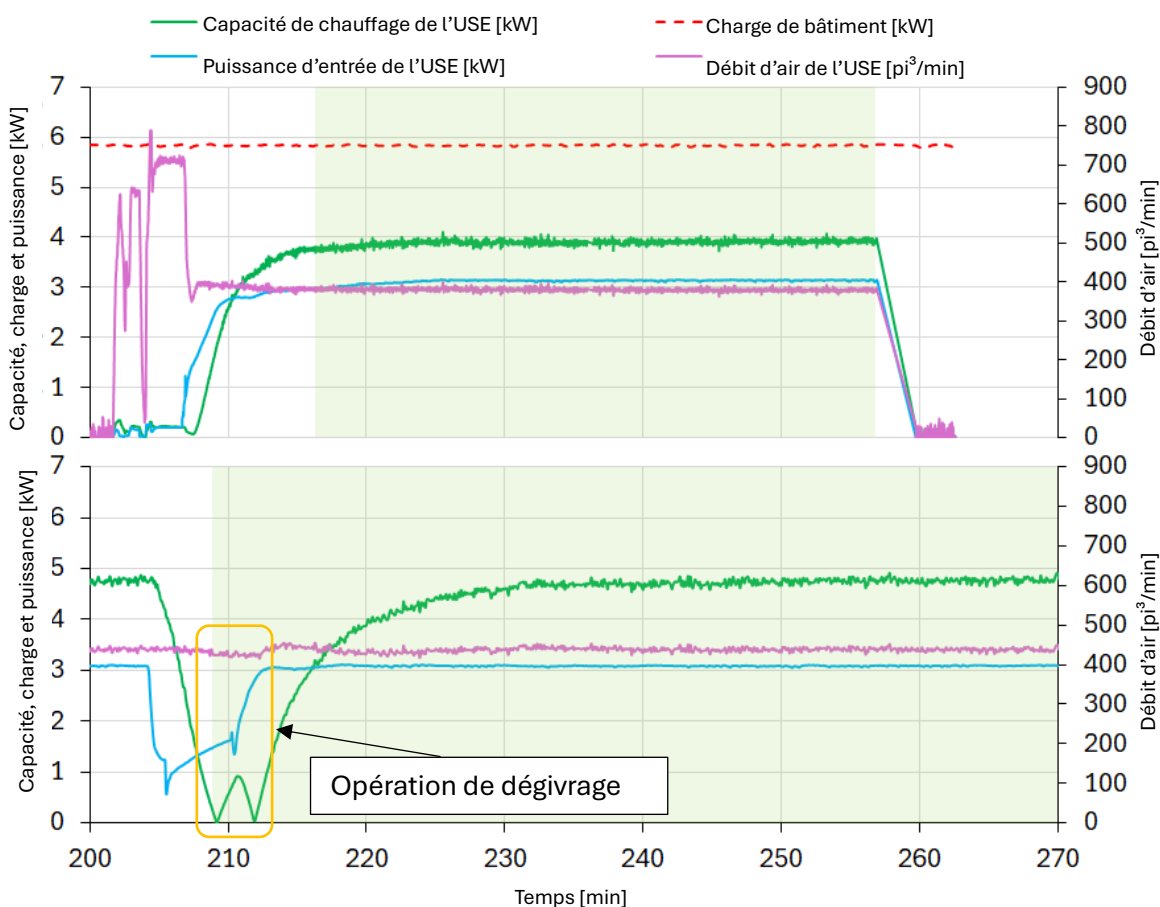


Figure 26. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C)

3.1.2.4. Intervalle d'essai de chauffage HB sur le continent (-15 °C)

Figure 27 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement HB (-15,0 °C) pour la capacité, la charge du bâtiment et la puissance d'entrée de l'USE à RNCan et au laboratoire A. Cet intervalle d'essai était un essai à pleine charge, où RNCan a atteint la convergence par l'entremise de deux périodes de 20 minutes sans opération de dégivrage, et le laboratoire A a utilisé un cycle de dégivrage complet comme période de convergence⁴. Le laboratoire A a observé que l'unité atteignait une capacité supérieure d'environ 1 kW pour la même consommation d'énergie. Cela a entraîné un CP inférieur de 15 % à RNCan. Le débit d'air au laboratoire A était de 55 pi³/min supérieur à celui de RNCan et avait une pression statique de 0,20 inH₂O, comparativement à 0,15 inH₂O à RNCan. La température de l'air d'alimentation était de 40,4 °C au laboratoire A et de 40,3 °C à RNCan. La différence de capacité est donc probablement attribuable à une réponse différente de l'équipement et du thermostat, ce qui a entraîné des débits d'air plus élevés au laboratoire A. Il est également possible que l'équipement ait pu lancer une réponse à capacité plus élevée à la suite d'une opération de dégivrage.



⁴ La perte de données au laboratoire A pendant l'intervalle d'essai HB (-15 °C) a entraîné l'absence de données « consécutives » utilisables pour plusieurs cycles de dégivrage. La solution de contournement utilisée par le laboratoire A était d'inclure un seul cycle de dégivrage complet, bien que la procédure SPE-07:23 exige trois cycles de dégivrage consécutifs pour la convergence.

Figure 27. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HB sur le continent (-15,0 °C)

Les deux installations ont maintenu les points de réglage de température du thermomètre sec intérieure et extérieure pendant cet intervalle à pleine charge comme le montre Figure 28.

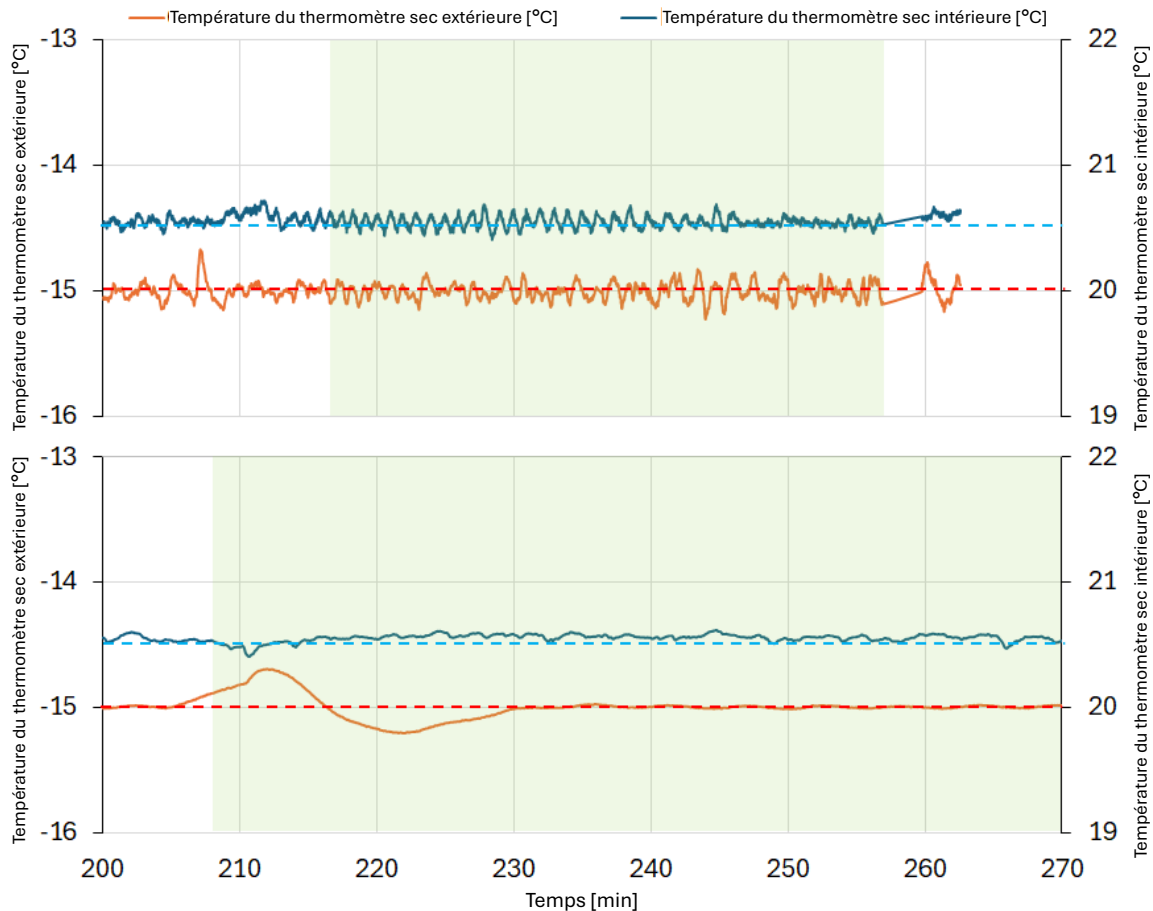


Figure 28. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HB sur le continent (-15,0 °C)

3.1.3. Résumé de l'essai de classement de refroidissement

Une série complète d'essais d'apprentissage et de classement de refroidissement de la procédure SPE-07 (à l'exception de l'essai de refroidissement à sec CA [45 °C]) a été réalisée dans les installations du laboratoire A et de RNCAN à l'aide de l'unité A pour évaluer la reproductibilité. Les résultats de la capacité, de la puissance d'entrée, du CP et du SCOP_c de refroidissement sont présentés ci-dessous, les résultats des essais du laboratoire A servant de référence par rapport auxquels les résultats de RNCAN sont comparés. Plusieurs essais sont analysés en détail pour appuyer la discussion sur les différences de comportement de l'équipement et pour examiner les limites de la reproductibilité. Les zones ombragées en vert dans les figures représentent la période de convergence dans les cas où plus de données sont présentées. Les figures présentant les résultats de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure comportent une ligne bleue en pointillés pour la température du thermomètre sec intérieure cible et une ligne rouge en pointillés pour la température du thermomètre sec extérieure cible. Pour des résultats d'essai plus détaillés, voir la section 7.1.1.

La série d'essais d'apprentissage sur le refroidissement a déterminé que les essais CE à CB dans des conditions sèches, ainsi que les essais CE à CC dans des conditions humides, devaient être des essais à charge partielle, tandis que l'essai CB dans des conditions humides a été réalisé comme un essai à pleine charge. Cela était cohérent entre le laboratoire A et RNCAN, tout comme les points de réglage du thermostat déterminés à la suite des essais de la série d'apprentissage, comme il est indiqué dans le Tableau 7. Les points de réglage du thermostat déterminés pendant l'essai d'apprentissage pour les essais CD et CC dans des conditions humides différaient légèrement entre les laboratoires, ce qui a permis de maintenir des températures intérieures de manière constante pendant les essais, ce qui est l'objectif de l'étape d'étalonnage du thermostat pendant les essais d'apprentissage.

Tableau 7. Points de réglage du thermostat de l'unité A en mode refroidissement pour RNCAN et le laboratoire A, comme il a été déterminé par les essais de la série d'apprentissage sur le refroidissement

Essai	Température du thermomètre sec extérieure, °F (°C)	Contrôle de la température du thermomètre sec intérieure cible, °F (°C)	TSTAT, °F (°C) (RNCAN)	TSTAT, °F (°C) (laboratoire A)
CE_D	77 (25)	75 (23,9)	75 (23,9)	75 (23,9)
CD_D	86 (30)	75 (23,9)	75 (23,9)	75 (23,9)
CC_D	95 (35)	75 (23,9)	75 (23,9)	75 (23,9)
CB_D	104 (40)	75 (23,9)	74 (23,3)	74 (23,3)
CE_H	77 (25)	70 (21,1)	70 (21,1)	70 (21,1)
CD_H	86 (30)	70 (21,1)	70 (21,1)	69 (20,6)
CC_H	95 (35)	70 (21,1)	68 (20)	69 (20,6)
CB_H	104 (40)	Min.	Min. (52 [11,1])	Min. (52 [11,1])

À la suite des essais de la série d'apprentissage sur le refroidissement, les essais de classement de refroidissement ont été réalisés dans l'ordre de la charge la plus basse à la charge la plus élevée. Les résultats de la capacité de refroidissement totale, qui incluent le refroidissement latent et sensible, sont présentés dans Figure 29 et Figure 30 pour des conditions sèches et humides respectivement. Les résultats indiquent une cohérence entre les installations, sauf pour l'essai CE dans des conditions sèches.

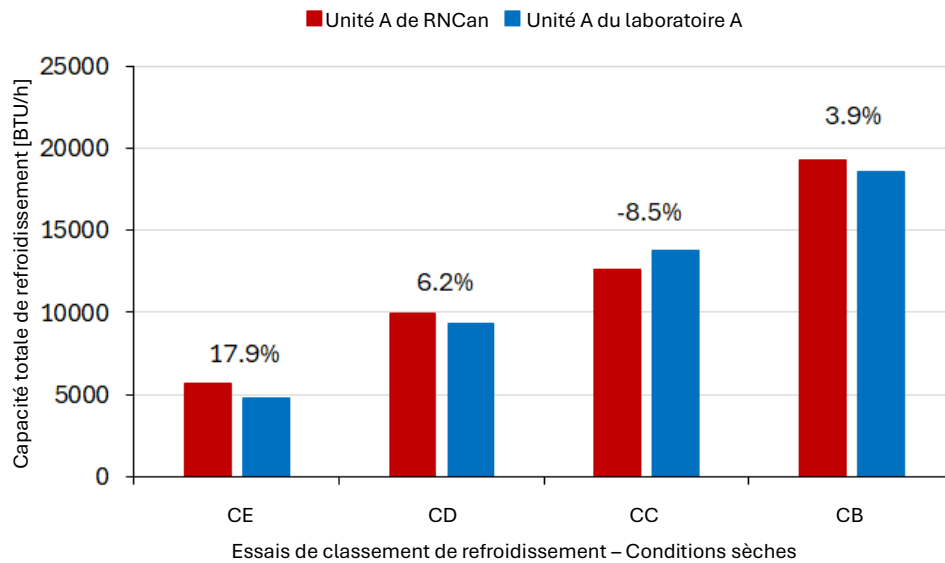


Figure 29. Capacité totale de refroidissement de l'unité A, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A

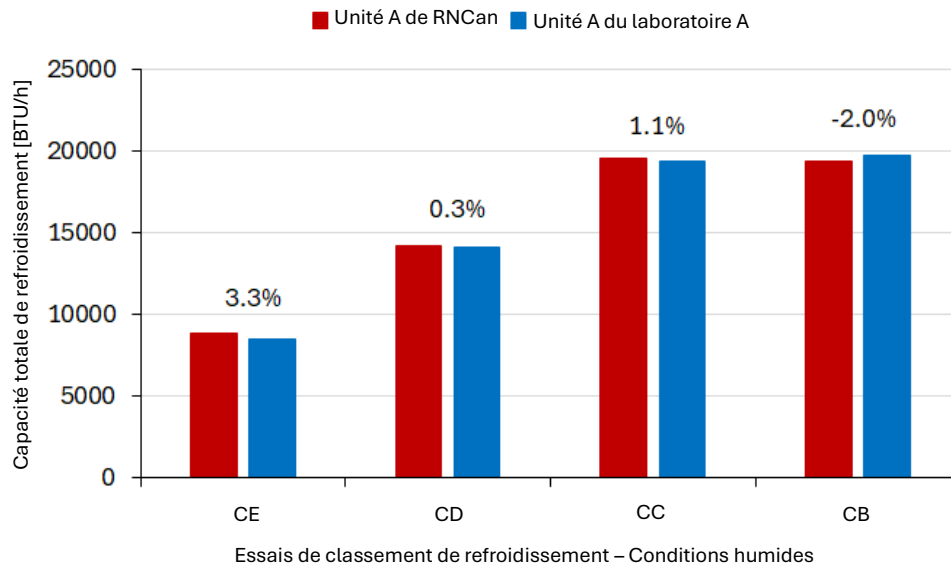


Figure 30. Capacité totale de refroidissement de l'unité A, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A

La consommation d'énergie intégrée de l'USE par intervalle d'essai est présentée dans Figure 31 et Figure 32 pour des conditions sèches et humides respectivement. Ici, nous pouvons observer une tendance constante vers une consommation d'énergie accrue à RNCAN pendant tous les intervalles d'essai.

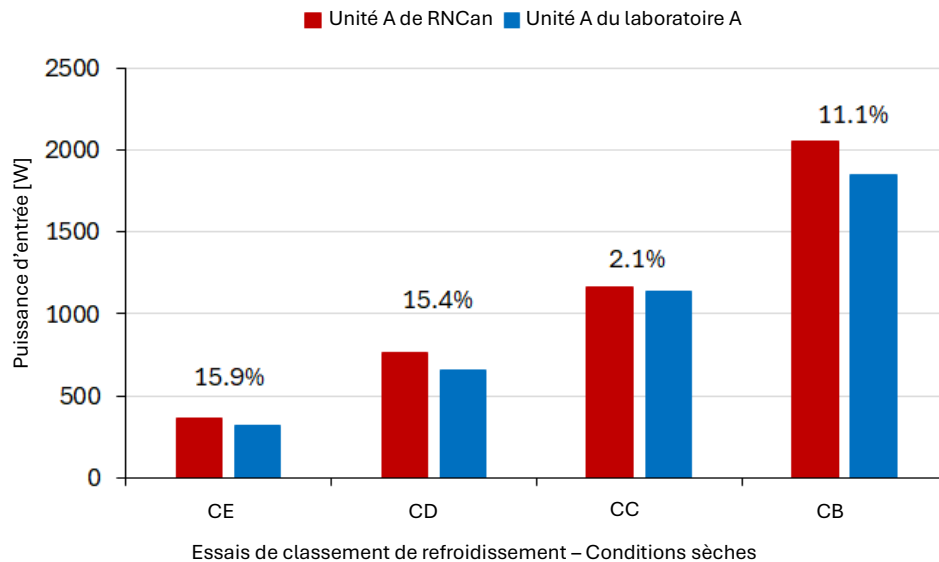


Figure 31. Puissance d'entrée de refroidissement de l'unité A, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A

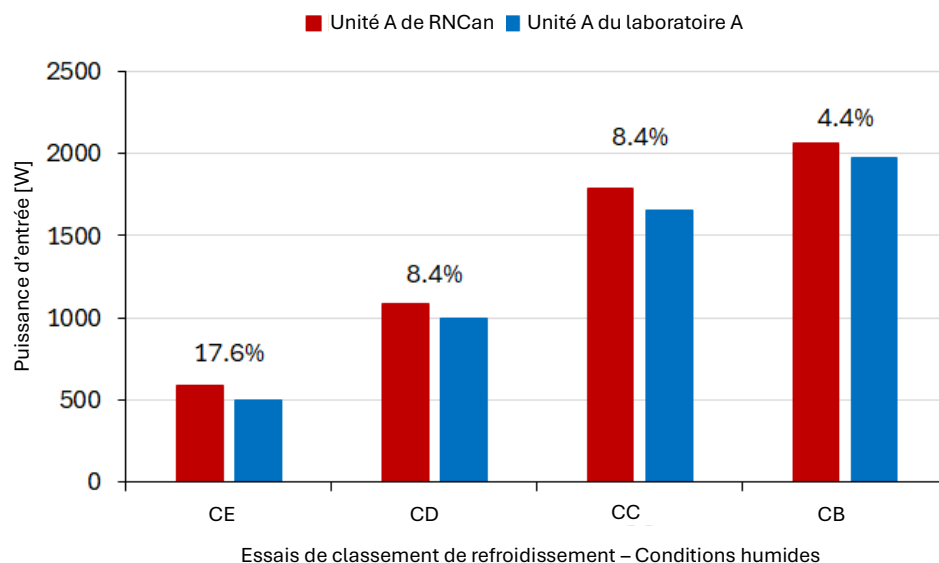


Figure 32. Puissance d'entrée de refroidissement de l'unité A, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A

Les essais de classement des CP résultants dans la Figure 33 et la Figure 34 révèlent que tous les essais avaient des CP inférieurs à RNCAN en raison de la puissance d'entrée plus élevée, sauf l'essai CE dans des conditions sèches.

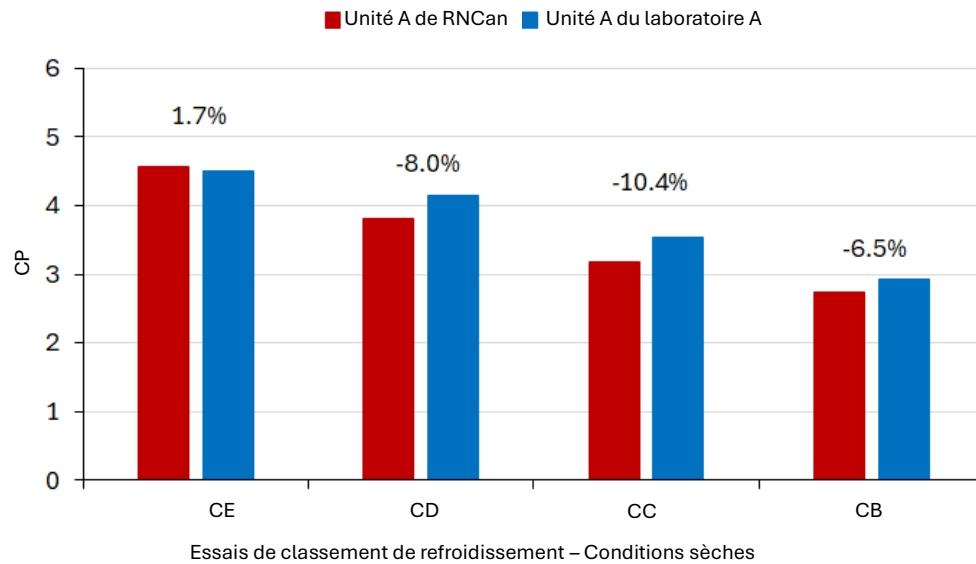


Figure 33. CP de refroidissement de l'unité A, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A

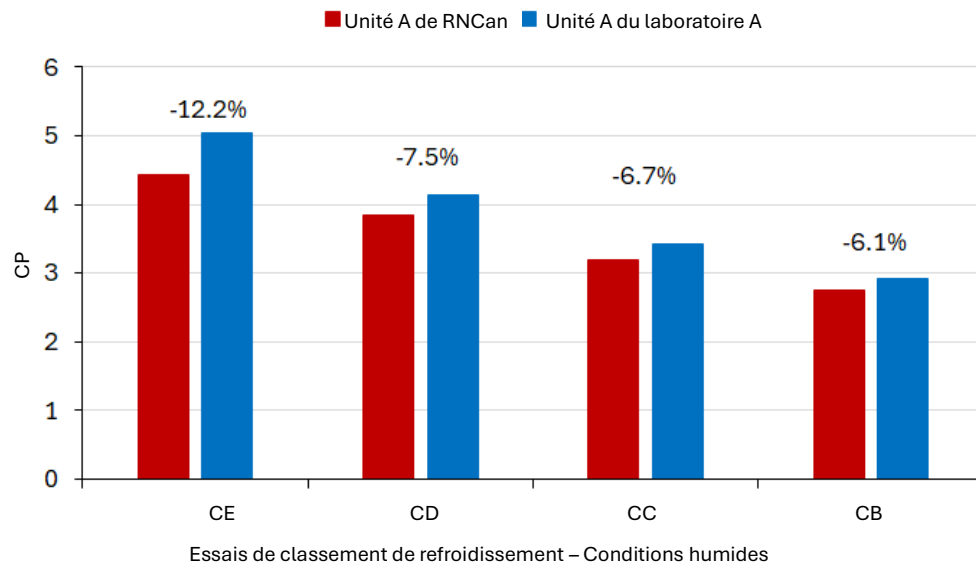


Figure 34. CP de refroidissement de l'unité A, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A

Enfin, les CP saisonniers de refroidissement (SCOP_c) pour les compartiments de refroidissement sont présentés dans la Figure 35 et le Tableau 8. La différence moyenne entre le laboratoire A et le SCOP_c de RNCAN dans toutes les régions climatiques est de 8,6 %, avec un écart type de 1,4 %. Toutes les régions climatiques ont été considérées comme « moyennes » en matière de reproductibilité des résultats du laboratoire A. Les essais de classement CE dans des conditions humides, CC dans des conditions sèches et CB dans des conditions humides seront abordés plus en détail ci-dessous.

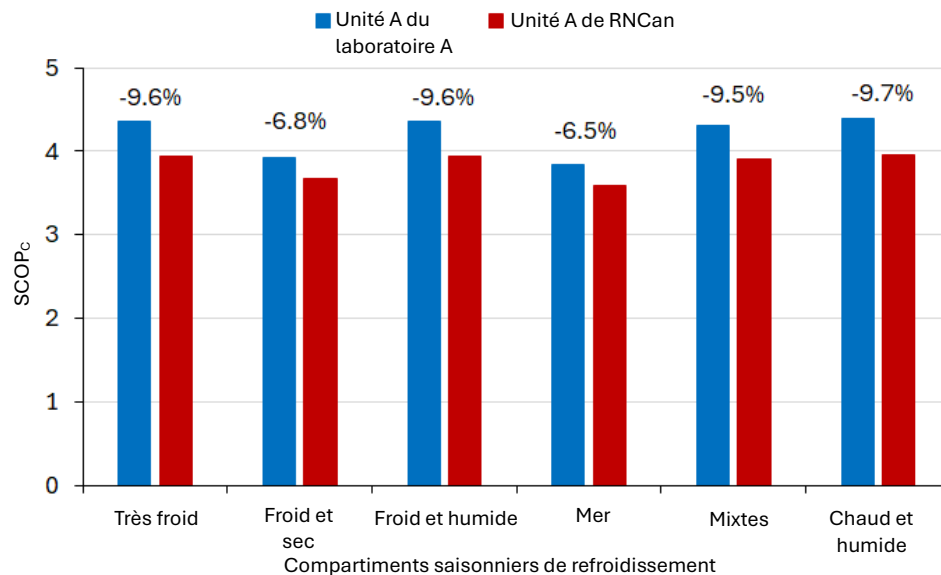


Figure 35. SCOP_c de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A

Tableau 8. SCOP_c de l'unité A, résultats de RNCAN et du laboratoire A

	Très froid	Froid et sec	Froid et humide	Mer	Mixtes	Chaud et humide
Laboratoire A	4,36	3,93	4,35	3,83	4,30	4,38
RNCAN	3,94	3,66	3,93	3,58	3,89	3,96
ΔSCOP [%]	9,61	6,75	9,59	6,54	9,45cl assem ent	9,72

3.1.4. Résultats des essais de refroidissement individuels

3.1.4.1. Intervalle d'essai de refroidissement CE dans des conditions humides (25 °C)

Figure 36 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement CE dans des conditions humides (25 °C) pour la capacité, la charge du bâtiment et la puissance d'entrée de l'USE à RNCAN et au laboratoire A. Cet intervalle d'essai était à charge partielle et a duré quatre heures. Un comportement cyclique a été observé dans les deux installations, avec des cycles plus longs et plus intenses à RNCAN. Le débit d'air pendant un cycle actif était en moyenne de 100 à 200 pi^3/min plus élevé à RNCAN, avec une puissance d'entrée également plus élevée, tandis que les capacités de refroidissement totales étaient similaires dans les deux installations. Par conséquent, les cycles d'arrêt étaient également plus longs à RNCAN, ce qui a entraîné deux cycles de moins pendant la période d'essai de quatre heures. Le CP intégré était inférieur de 12,2 % à RNCAN.

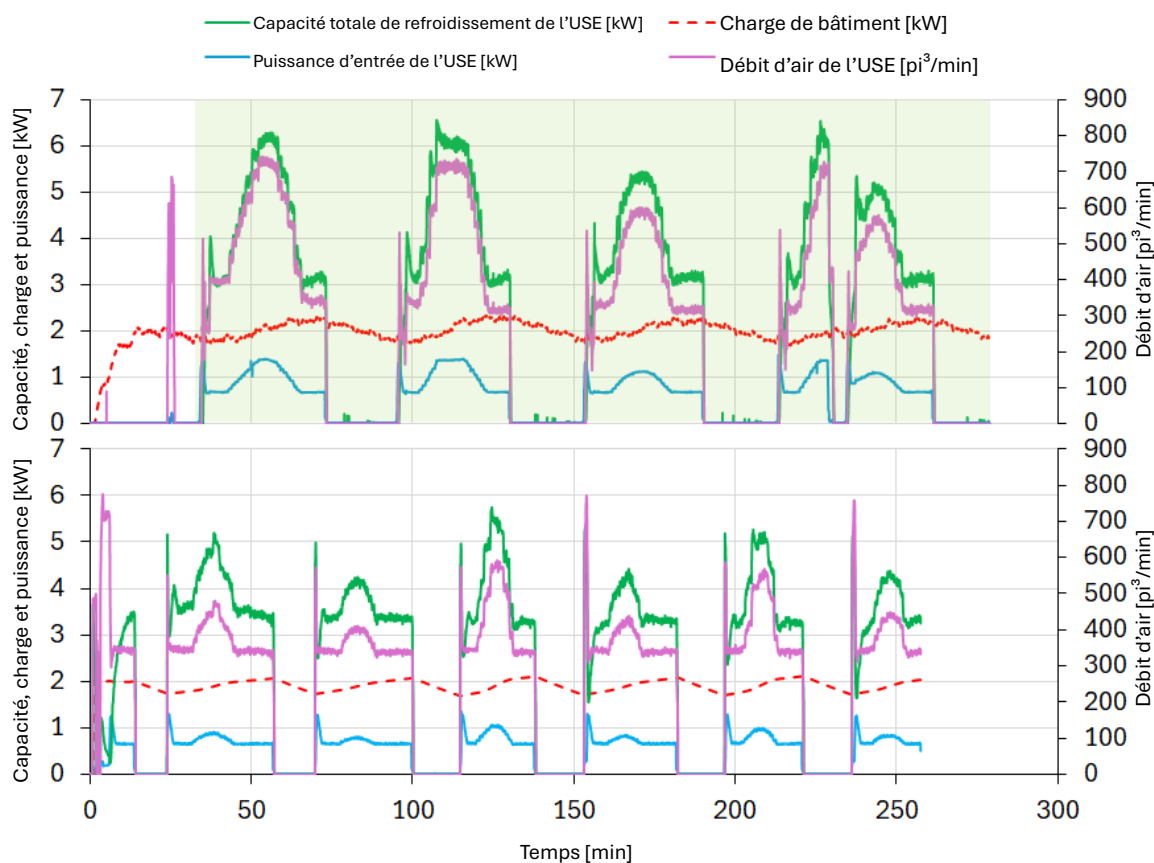


Figure 36. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat humide (25 °C)

Figure 37 montre le comportement de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure pendant l'intervalle d'essai CE dans des conditions humides à RNCan et au laboratoire A. La température du thermomètre sec intérieure résultante était de 0,5 °C plus élevée au laboratoire A. Les rapports d'humidité intérieure étaient similaires, avec 0,008 3 et 0,008 0 à RNCan et au laboratoire A respectivement. La différence peut s'expliquer par le comportement dynamique différent du thermostat et de l'équipement pour cet intervalle d'essai, car la température du thermomètre sec intérieure n'a jamais baissé de plus de 0,25 °C par rapport au point de réglage du thermostat au laboratoire A, tandis qu'elle a baissé jusqu'à 1,0 °C en dessous du point de réglage à RNCan.

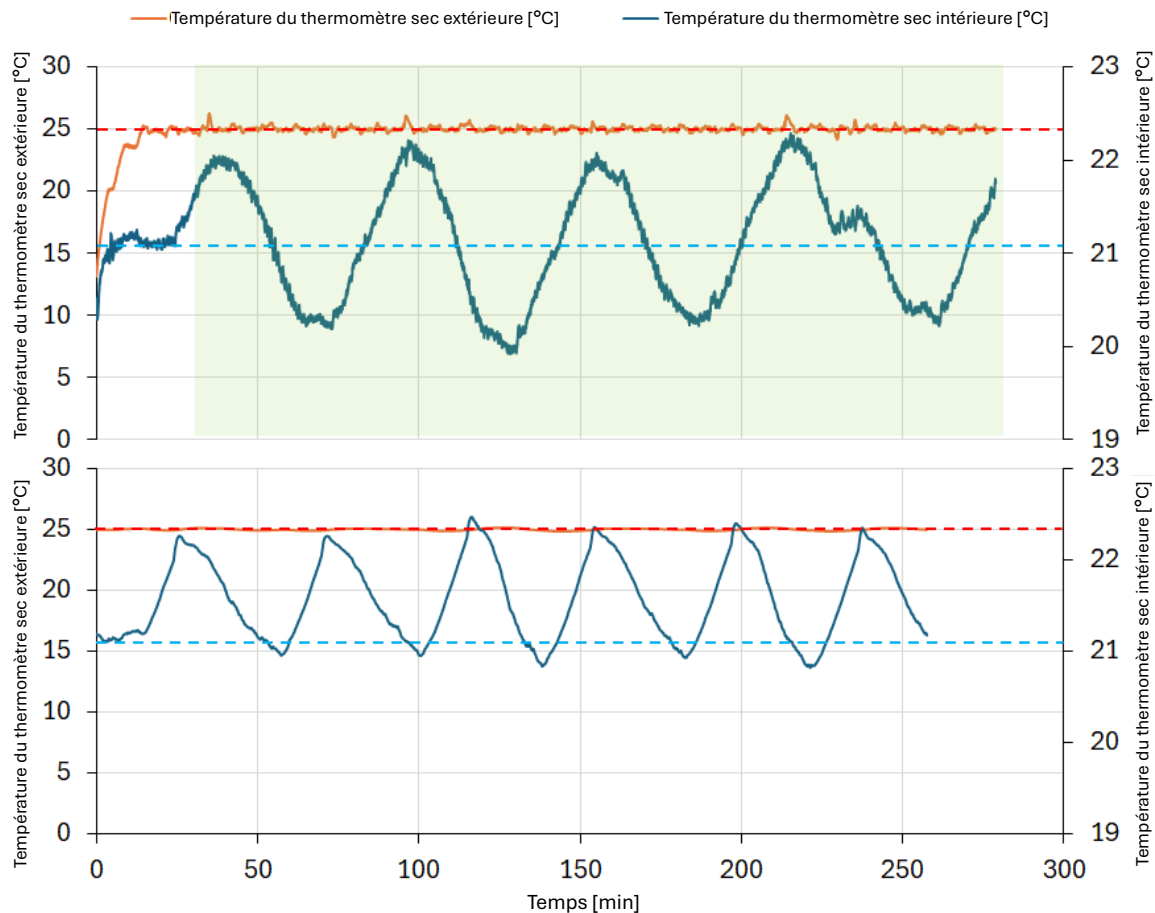


Figure 37. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat humide (25 °C)

3.1.4.2. Intervalle d'essai de refroidissement CC dans des conditions sèches (35 °C)

Figure 38 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement CC dans des conditions sèches (35 °C) pour la capacité, la charge du bâtiment et la puissance d'entrée de l'USE à RNCan et au laboratoire A. Cet intervalle d'essai était à charge partielle et pouvait converger en fonction du comportement régulier à vitesse variable ou à cycle de marche et d'arrêt. Toutefois, la convergence n'a pas été atteinte dans l'une ou l'autre des installations, prolongeant ainsi l'intervalle d'essai à quatre heures, comme l'exige la procédure SPE-07. Les cycles de l'USE étaient plus longs et plus intenses à RNCan qu'au laboratoire A, mais aussi plus cohérents, tandis qu'un cycle irrégulier a été observé au laboratoire A. Le débit d'air pendant les cycles de marche était d'environ 50 pi³/min plus élevé au laboratoire A. La capacité de refroidissement totale était en moyenne plus élevée au laboratoire A, mais la capacité à l'état stable était similaire dans les deux essais, soit d'environ 6 kW. Toutefois, la puissance d'entrée était presque identique avec une différence intégrée de seulement 25 W entre les deux essais. Cela a entraîné un CP inférieur de 10,4 % à RNCan.

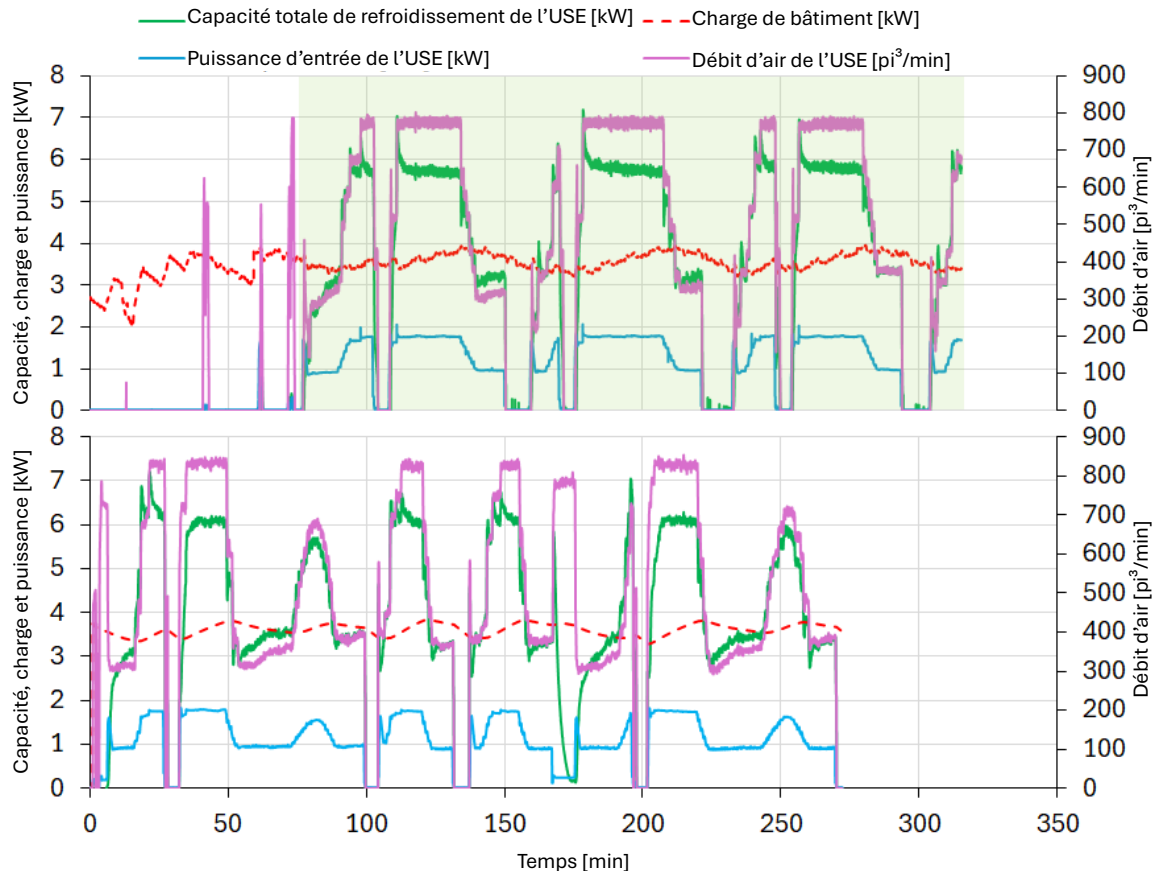


Figure 38. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C)

Figure 39 montre le comportement de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure de l'intervalle d'essai CC à NRCan et au laboratoire A. Les températures du thermomètre sec intérieure et intégrées étaient cohérentes entre les installations, avec 24,7 °C à NRCan et 24,5 °C au laboratoire A. L'USE semblait favoriser une grande zone morte avec des températures intérieures atteignant 0,5 °C de plus pendant l'activation de l'USE à NRCan qu'au laboratoire A.

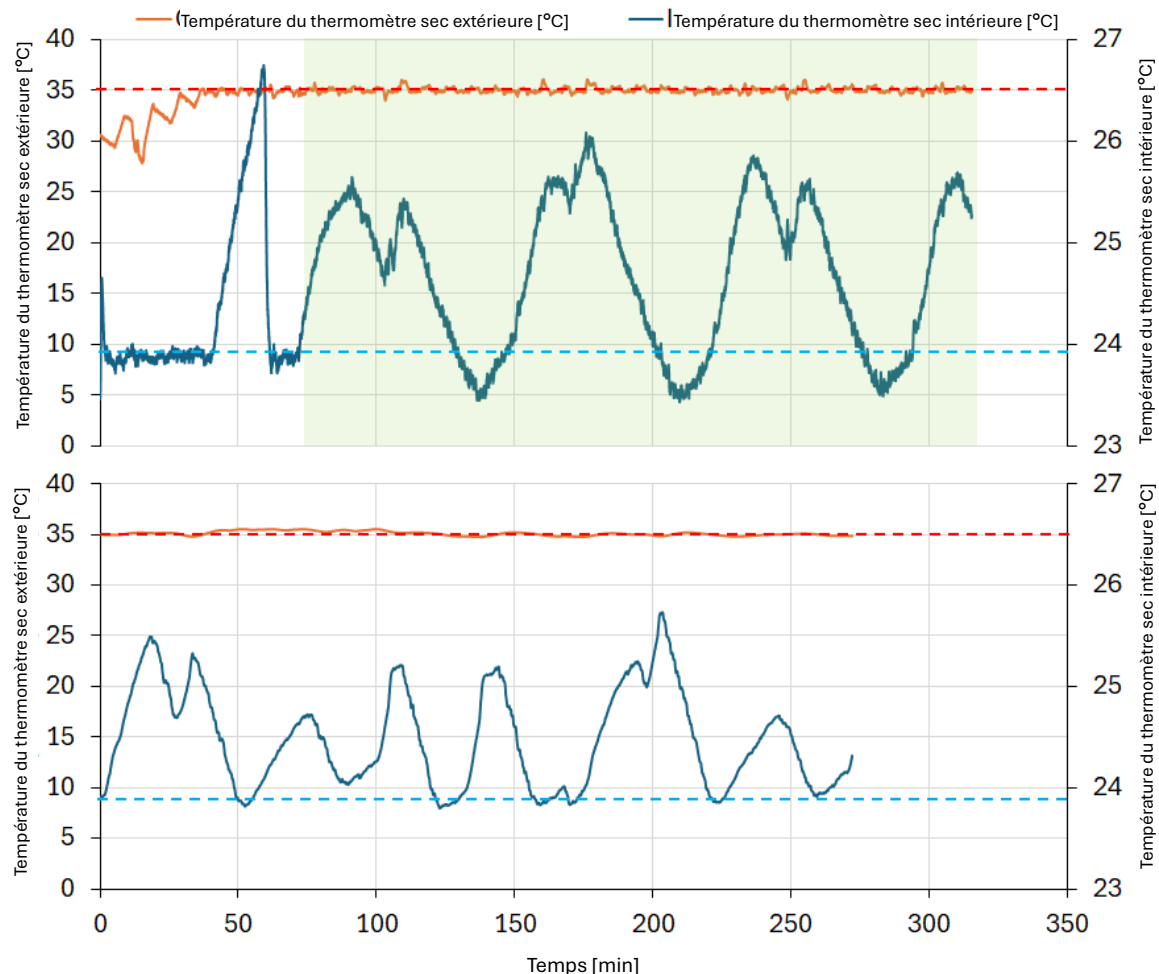


Figure 39. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à NRCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C)

La divergence dans la capacité de refroidissement n'était pas apparente dans les capacités latentes ou sensibles, les deux installations observant une répartition similaire entre les deux comme le montre la Figure 40. Le rapport de mélange intérieur et intégré résultant était de 0,008 4 à RNCan et de 0,008 2 au laboratoire A.

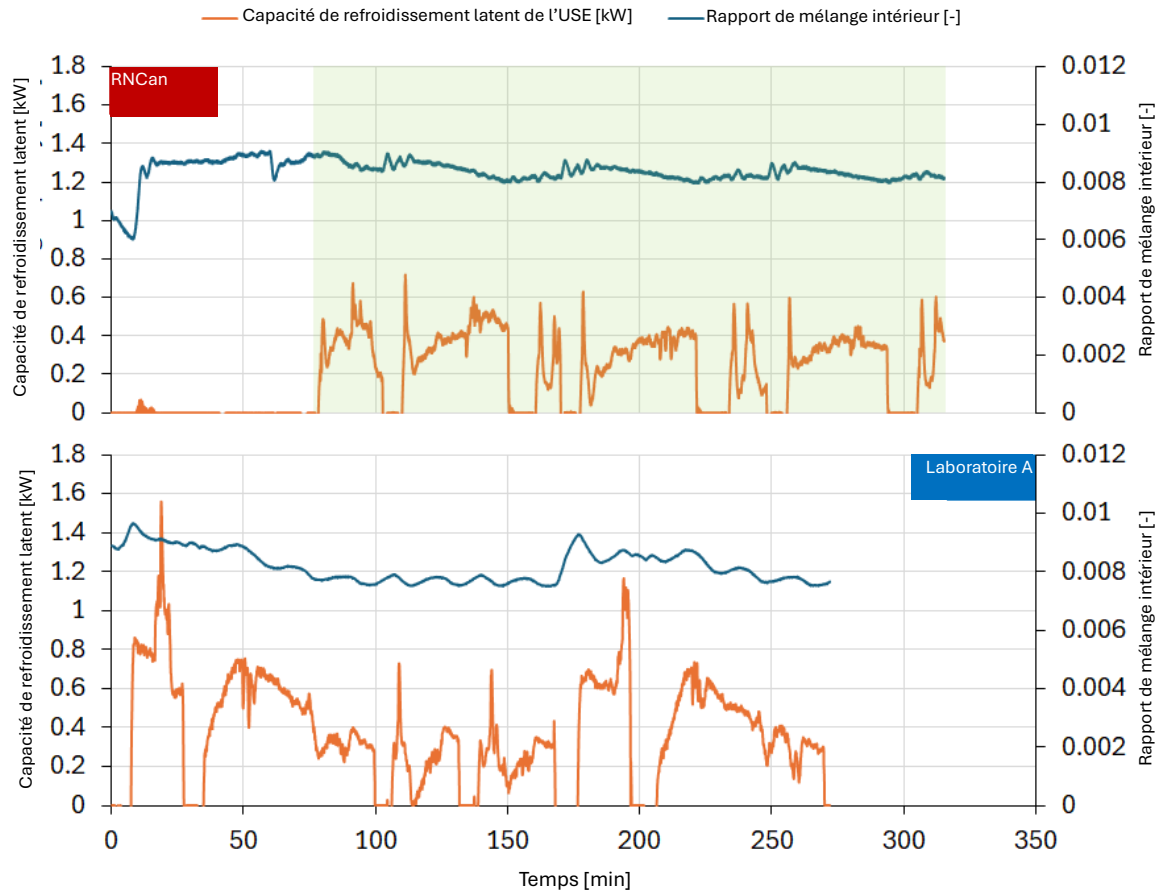


Figure 40. Capacité de refroidissement latent et rapport de mélange intérieur de l'unité A pendant l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec

3.1.4.3. Intervalle d'essai de refroidissement CB dans des conditions humides (40 °C)

Figure 41 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement CB dans des conditions humides (40 °C) pour la capacité, la charge du bâtiment et la puissance d'entrée de l'USE à RNCAN et au laboratoire A. L'intervalle d'essai était à pleine charge dans les deux installations, RNCAN et le laboratoire A ayant atteint la convergence après deux périodes consécutives de 20 minutes. Les capacités de refroidissement totales étaient similaires dans les deux installations, avec une différence de seulement 0,1 kW, tandis que la puissance d'entrée était d'environ 80 W plus élevée à RNCAN, entraînant une différence de CP de 6,1 % entre le laboratoire A et RNCAN. La répartition de la différence de puissance d'entrée était présente même entre les unités intérieures et extérieures avec 32 W et 50 W de puissance consommée en plus à RNCAN respectivement. Les débits d'air étaient identiques entre les installations d'essai à 800 pi³/min, avec des pressions statiques externes de l'unité intérieure identiques de 0,75 inH₂O.

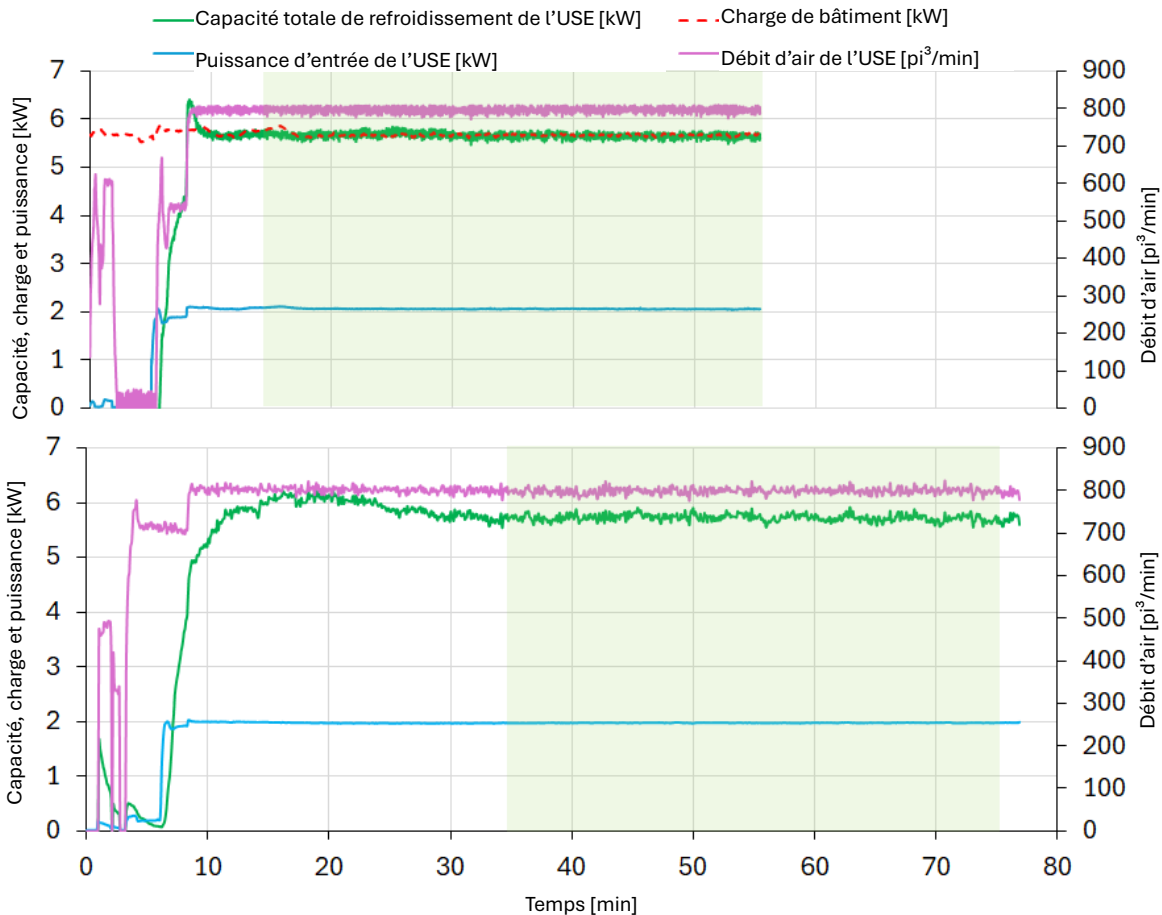


Figure 41. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CB dans un climat humide (40 °C)

Figure 42 montre le comportement de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure pendant l'intervalle d'essai CB dans des conditions humides à RNCAN et au laboratoire A. Les deux installations ont maintenu une température du thermomètre sec intérieure constante pendant l'essai, comme l'exige un intervalle à pleine charge.

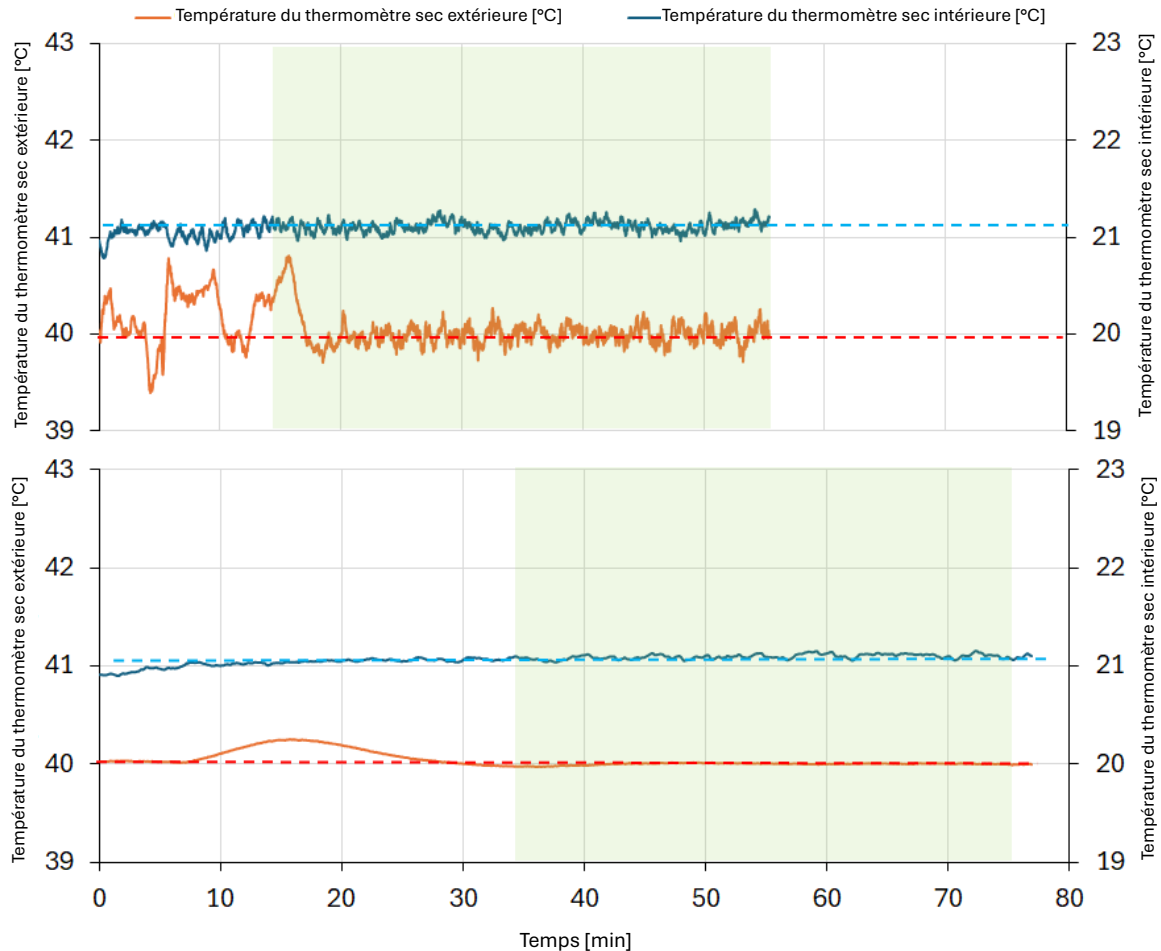


Figure 42. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité A à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CB dans un climat humide (40 °C)

Cet intervalle d'essai présente un cas où l'USE s'est comportée de manière identique dans les deux installations d'essai et a néanmoins entraîné une différence de CP de 6,1 %. Ce résultat pourrait s'expliquer par des différences d'installation entre les installations d'essai qui ont entraîné des problèmes, tels qu'une consommation d'énergie accrue du ventilateur de l'unité extérieure en raison des restrictions de hauteur dans la chambre extérieure de RNCAN, ainsi que des différences dans l'instrumentation utilisée pour calculer la capacité de refroidissement totale, comme les sondes platines utilisées par le laboratoire A et les réseaux de thermocouples utilisés par RNCAN.

3.2. Unité C

3.2.1. Résumé de l'essai de classement de chauffage

Une série complète d'essais d'apprentissage et d'évaluation de chauffage de la procédure SPE-07 a été réalisée au laboratoire A et dans les installations de RNCAN sur l'unité C pour évaluer la reproductibilité. Les résultats de la capacité, de la puissance d'entrée, du CP et du CP saisonnier (SCOP) sont présentés, les résultats des essais du laboratoire A servant de référence par rapport auxquels les résultats de RNCAN sont comparés. Plusieurs essais sont analysés en détail pour appuyer la discussion sur les différences de comportement de l'équipement et pour examiner les limites de la reproductibilité. Les zones ombragées en vert dans les figures représentent la période de convergence dans les cas où plus de données sont présentées. Les figures présentant les résultats de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure comportent une ligne bleue en pointillés pour la température du thermomètre sec intérieure cible et une ligne rouge en pointillés pour la température du thermomètre sec extérieure cible. Pour des résultats d'essai plus détaillés, voir la section 7.1.2.

Les essais de la série d'apprentissage sur le chauffage ont déterminé que les essais HF à HD étaient des essais à charge partielle, tandis que les essais HC à HL (TBR – température la plus basse répertoriée) étaient des essais à pleine charge. Les conditions de charge des essais étaient cohérentes entre le laboratoire A et RNCAN. Toutefois, les points de réglage du thermostat n'étaient pas cohérents entre les installations, comme le montre Tableau 9. De plus, l'essai de la série d'apprentissage HL réalisé à RNCAN a révélé que l'unité C ne produirait pas sa capacité nominale à sa température la plus basse répertoriée et s'interromprait de manière intermittente sans opérations de dégivrage. Cet intervalle d'essai a donc été retiré des calculs SCOP aux fins d'évaluation de la reproductibilité, bien que les résultats du laboratoire A soient toujours présentés dans les figures ci-dessous.

Tableau 9. Points de réglage du thermostat de l'unité C en mode chauffage pour RNCAN et le laboratoire A, comme il a été déterminé par les essais de la série d'apprentissage sur le chauffage

Essai	Température du thermomètre sec extérieure, °F (°C)	Contrôle de la température du thermomètre sec intérieure cible, °F (°C)	TSTAT, °F (°C) (RNCAN)	TSTAT, °F (°C) (laboratoire A)
HF_C	54 (12,2)	74 (23,3)	69 (20,6)	72 (22,2)
HE_C	47 (8,3)	74 (23,3)	69 (20,6)	72 (22,2)
HD_C	34 (1,1)	74 (23,3)	70 (21,1)	72 (22,2)
HC_C	17 (-8,3)	Max.	Max. (83 [28,3])	Max. (83 [28,3])
HB_C	5 (-15)	Max.	Max. (83 [28,3])	Max. (83 [28,3])
HL_C	-13 (-25)	Max.	Max. (83 [28,3])	Max. (83 [28,3])
HD_M	34 (1,1)	74 (23,3)	70 (21,1)	72 (22,2)

À la suite des essais de la série d'apprentissage sur le chauffage, les essais de classement de chauffage ont été réalisés dans l'ordre de la charge la plus basse à la charge la plus élevée. Les résultats de la capacité de chauffage présentés dans Figure 43 révèlent que les essais HC et HB avaient des capacités intégrées plus élevées à l'installation d'essai de RNCAN, tandis que les autres essais étaient cohérents entre les installations. Par ailleurs, la consommation d'énergie intégrée de l'USE présentée dans la Figure 44 était systématiquement plus élevée dans l'installation d'essai de RNCAN pour tous les essais de classement, avec l'écart des essais HC et HB par rapport aux résultats du laboratoire A étant particulièrement considérable. Les essais de classement des CP résultants montrés dans la Figure 45 révèlent que tous les intervalles d'essai de chauffage à RNCAN ont eu des performances inférieures à celles du laboratoire A. Les essais de classement HE, HC et HL seront abordés plus en détail ci-dessous.

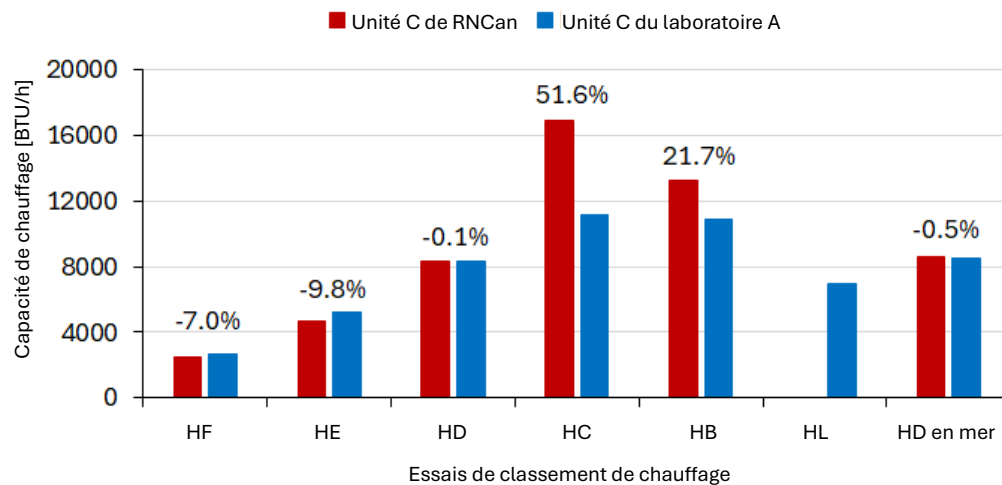


Figure 43. Capacité de chauffage de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A

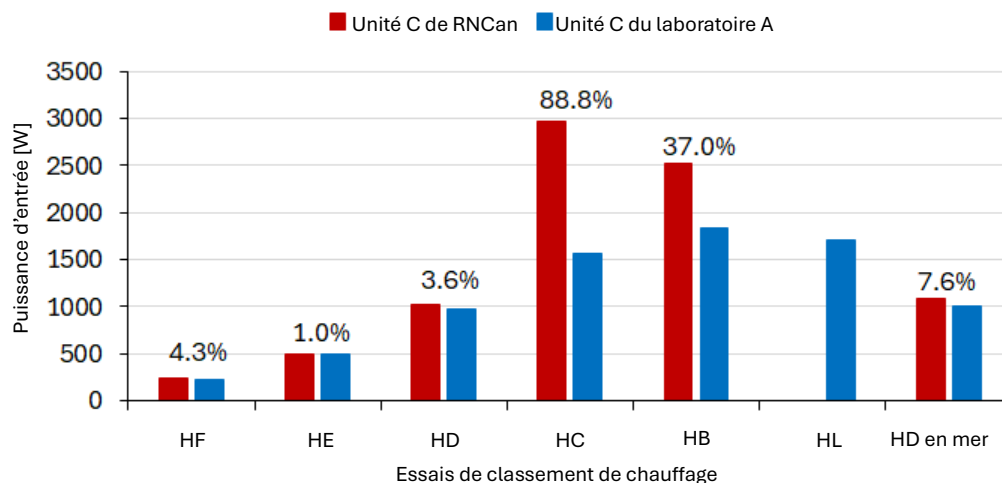


Figure 44. Puissance d'entrée de chauffage de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A

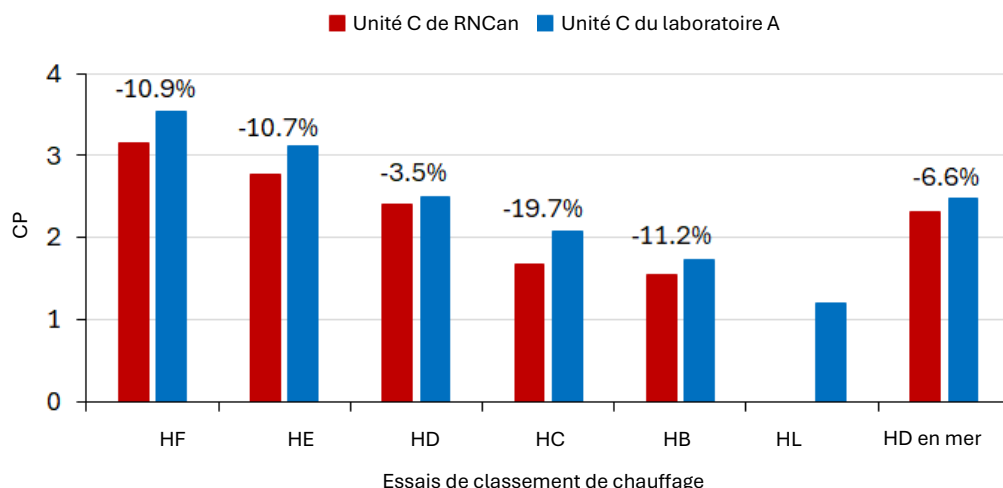


Figure 45. CP de chauffage de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A

Enfin, les CP saisonniers de chauffage ($SCOP_H$) pour les compartiments de chauffage sont présentés dans la Figure 46 et le Tableau 10. La différence moyenne entre le laboratoire A et le $SCOP_H$ de RNCAN dans toutes les régions climatiques est de 9,8 %, avec un écart type de 1,1 %. Tous les $SCOP$ des régions climatiques sont « moyens » en matière de reproductibilité.

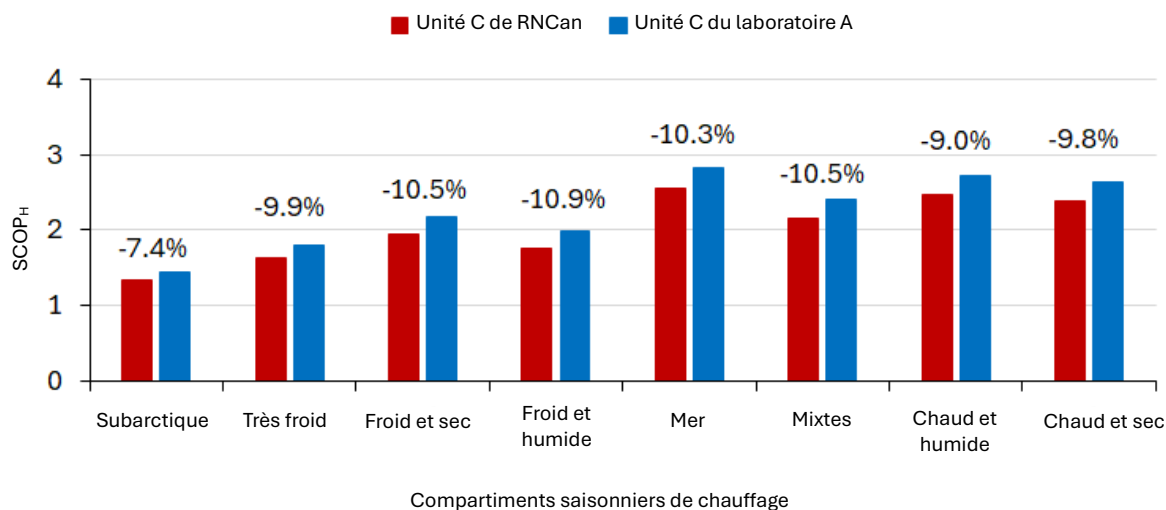


Figure 46. $SCOP_H$ de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A

Tableau 10. $SCOP_H$ de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A

	Subarctique	Très froid	Froid et sec	Froid et humide	Mer	Mixtes	Chaud et humide	Chaud et sec
Laboratoire A	1,45	1,80	2,17	1,98	2,83	2,40	2,72	2,64
RNCAN	1,34	1,62	1,94	1,77	2,54	2,15	2,47	2,38
$\Delta SCOP$ [%]	7,4	9,9	10,5	10,9	10,3	10,5	9,0	9,8

3.2.1. Résultats des essais de chauffage individuels

3.2.1.1. Intervalle d'essai de chauffage HE sur le continent (8,3 °C)

Figure 47 montre la capacité, la charge du bâtiment, la puissance d'entrée et le débit d'air de l'unité C pour l'intervalle d'essai de chauffage HE (8,3 °C). RNCan a atteint la convergence après deux cycles complets en fonctionnement de charge partielle avec des cycles de marche et d'arrêt, tandis que le laboratoire A a terminé l'essai après quatre heures en raison d'un comportement régulier du système. Le comportement de l'unité C était similaire dans les deux installations d'essai, avec des capacités de chauffage atteignant environ 4,5 kW et une puissance d'entrée culminant à 1,5 kW. Toutefois, la capacité intégrée était supérieure de 0,5 kW dans le laboratoire A, tandis que la puissance d'entrée intégrée était identique entre les installations. Les débits d'air étaient supérieurs au laboratoire A de 20 pi³/min. Les cycles étaient légèrement plus courts en moyenne à RNCan.

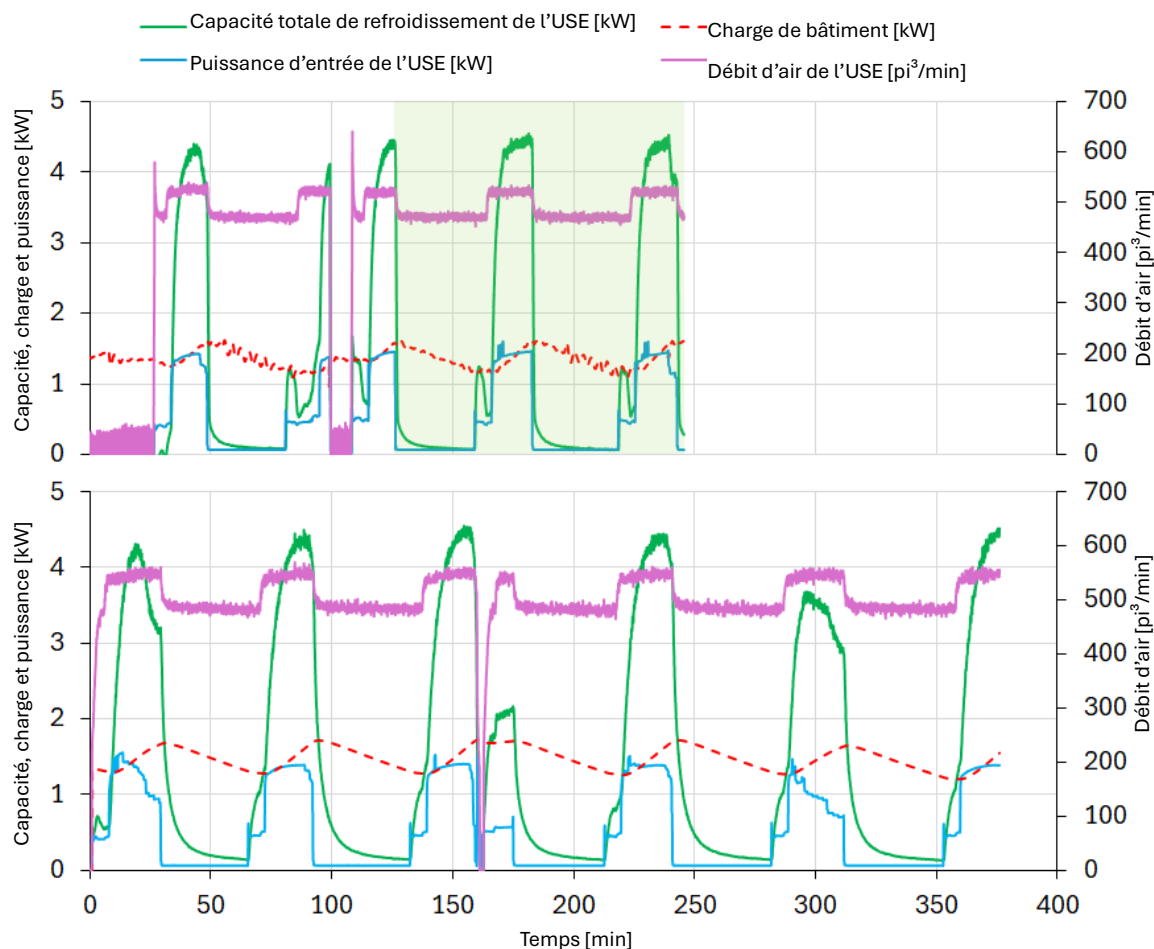


Figure 47. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HE sur le continent (8,3 °C)

Figure 48 montre les températures du thermomètre sec intérieures et extérieures de l'unité C pour l'intervalle d'essai HE. La température intérieure et intégrée était de 74,3 °F à RNCAN et de 75,3 °F au laboratoire A. L'unité A semble avoir maintenu une température intérieure plus près du point de réglage du thermostat de 74 °F à RNCAN, mais le comportement global de l'équipement et du thermostat était similaire. Cette différence de température du thermomètre sec intérieure maintenue a entraîné une charge moyenne de bâtiment 0,1 kW plus élevée au laboratoire A. Le CP intégré résultant était de 10,4 % inférieur à RNCAN.

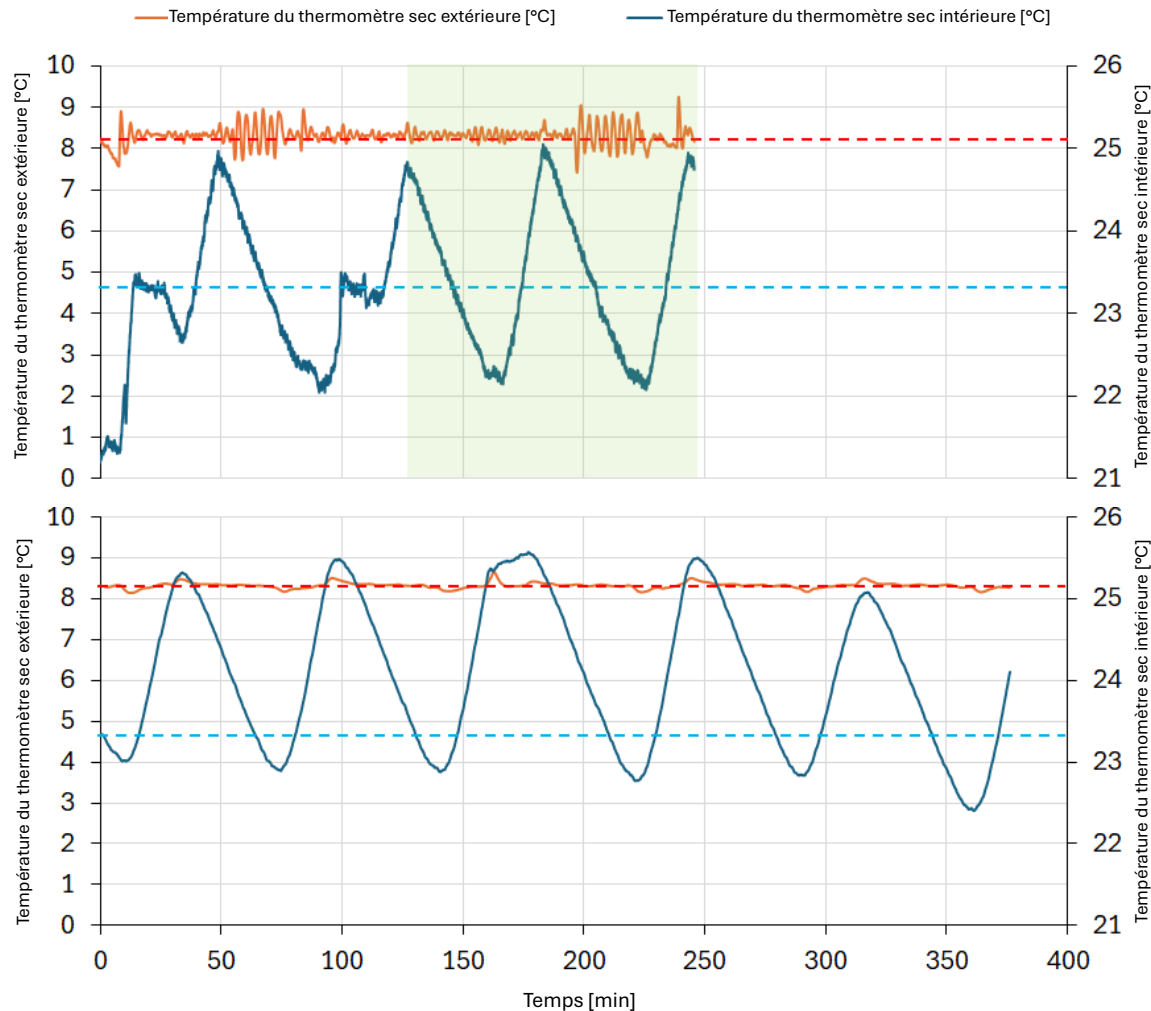


Figure 48. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HE sur le continent (8,3 °C)

3.2.1.2. Intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C)

Figure 49 montre la capacité, la puissance d'entrée et le débit d'air de l'unité C pour l'intervalle d'essai de chauffage HC (-8,3 °C). Cet essai était un intervalle à pleine charge dans les deux installations, et la convergence a été atteinte en marche à l'état stable sans dégivrage. Toutefois, l'unité C a produit 5 kW de chaleur à RNCAN et 3,3 kW au laboratoire A. De même, la puissance d'entrée était supérieure de 1,5 kW à RNCAN, tandis que les débits d'air étaient similaires.

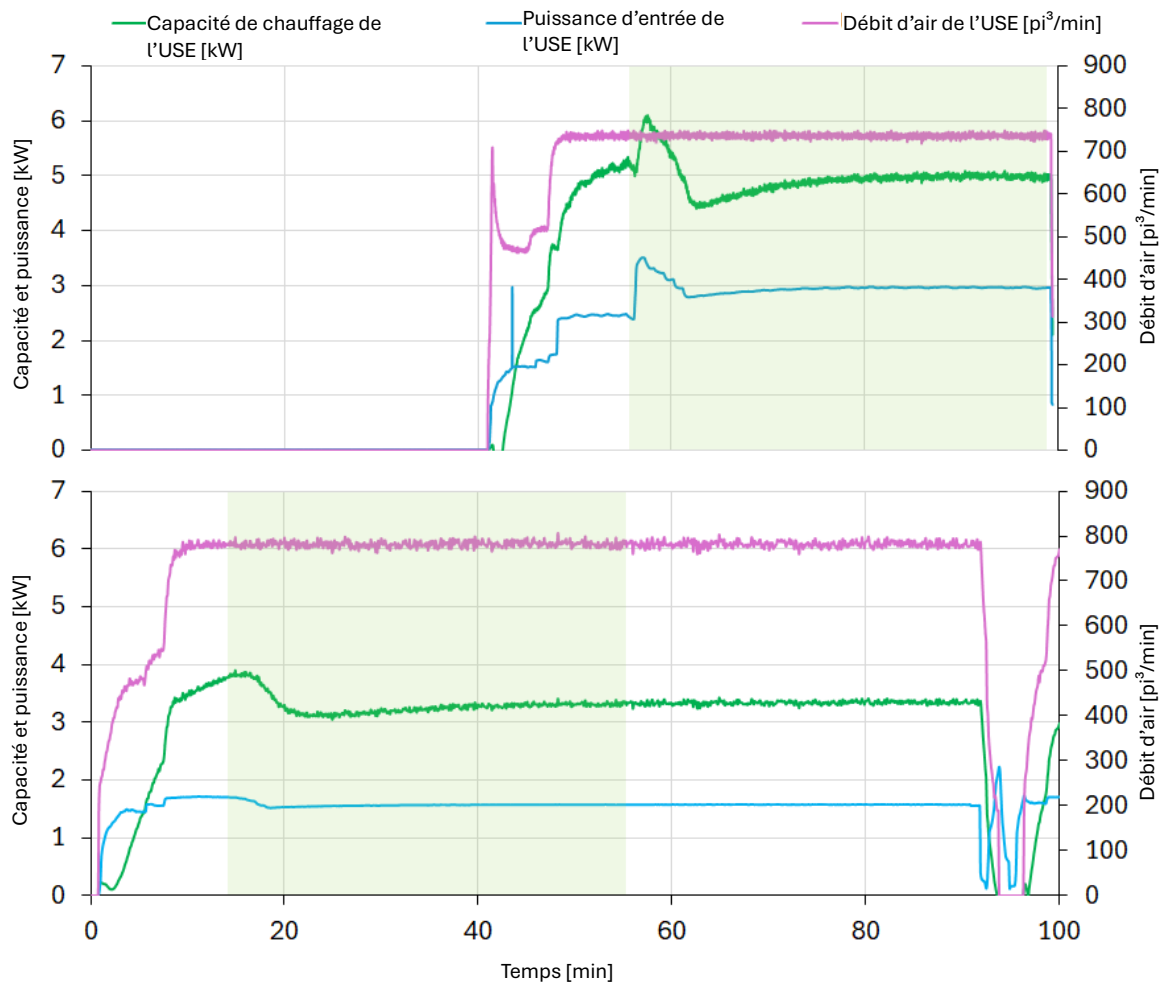


Figure 49. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C)

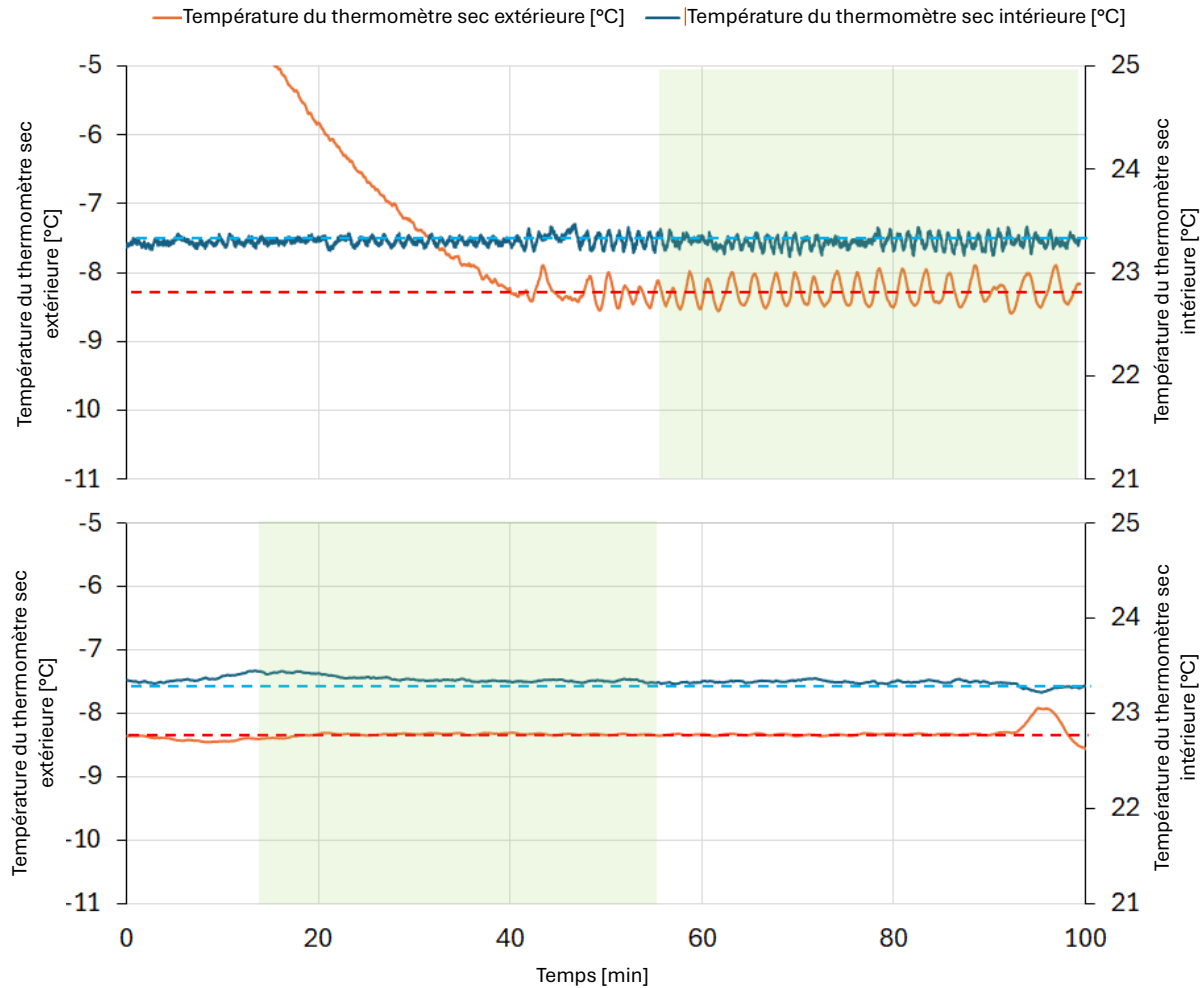


Figure 50. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HC sur le continent (-8,3 °C)

RNCAN et le laboratoire A ont répété cet essai trois fois, RNCAN obtenant des résultats et un comportement de l'équipement similaires chaque fois, comme le montrent les Figure 51 à Figure 53. Toutefois, le laboratoire A a observé une réponse d'équipement différente pendant le troisième essai HC effectué, qui était plus harmonisée avec le comportement et la performance observés à RNCAN. Ce changement de comportement de l'équipement est difficile à expliquer. Certains thermostats disposent de fonctions de contrôle de la demande intégrées qui pourraient toucher la performance de l'équipement, mais aucune de ces fonctionnalités n'a été active dans l'une ou l'autre des installations d'essai pendant les essais.

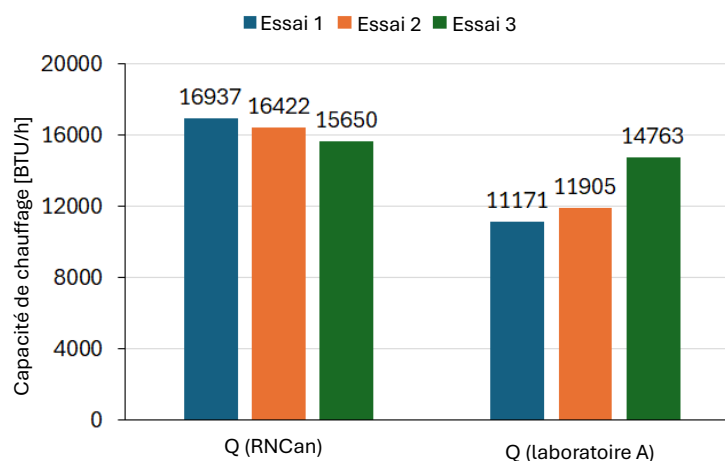


Figure 51. Résultats de la capacité de chauffage de l'unité C pour l'intervalle d'essai HC (-8,3 °C) répété trois fois à RNCAN et au laboratoire A

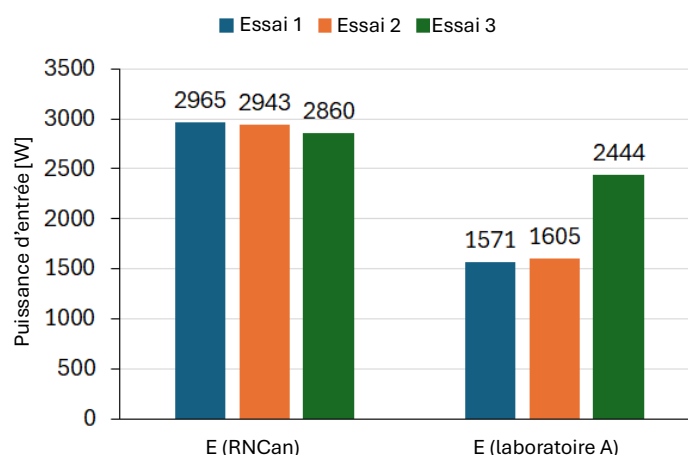


Figure 52. Résultats de la puissance d'entrée de l'unité C pour l'intervalle d'essai HC (-8,3 °C) répété trois fois à RNCAN et au laboratoire A

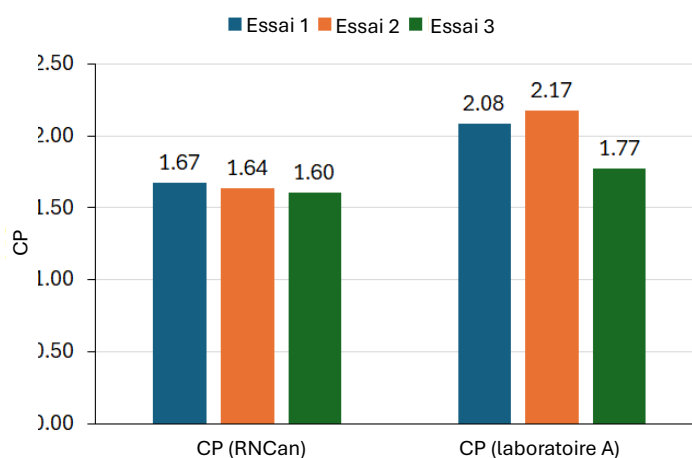


Figure 53. Résultats du CP de l'unité C pour l'intervalle d'essai HC (-8,3 °C) répétés trois fois à RNCAN et au laboratoire A

3.2.1.3. Intervalle d'essai de chauffage HL sur le continent (-25 °C)

Figure 54 montre la capacité, la puissance d'entrée et le débit d'air de l'unité C pour l'intervalle d'essai HL. La température d'exploitation la plus basse répertoriée (TBR) de l'unité C était de -25 °C. Cependant, l'unité C n'a pas fonctionné à cette température dans l'installation d'essai de RNCAN. Bien que la puissance d'entrée ait suivi une augmentation et un pic similaires, la capacité de chauffage n'a jamais dépassé 1,2 kW à RNCAN, tandis qu'elle a atteint un pic de 3 kW au laboratoire A. L'unité C a même montré une capacité négative au démarrage, indiquant un problème lié à la capacité du compresseur à évacuer le réfrigérant à haute température.

À la suite des tentatives répétées d'exploiter l'unité C à la TBR de RNCAN, il a été décidé de vérifier la charge de réfrigérant pour s'assurer qu'aucune n'avait été perdue depuis le début des essais. Avec 3,00 lb ajoutés au début des essais, RNCAN a récupéré 2 lb 12 oz. Bien que cela constitue une légère perte de réfrigérant, on soupçonne que les quatre onces restantes étaient encore présentes dans l'unité sous forme de vapeur. RNCAN a ensuite ajouté une charge d'usine, ou 3 lb 12 oz, avec le même seuil de coupure résultant pour l'unité extérieure pendant l'approche de la TBR, comme il est indiqué dans la Figure 55.

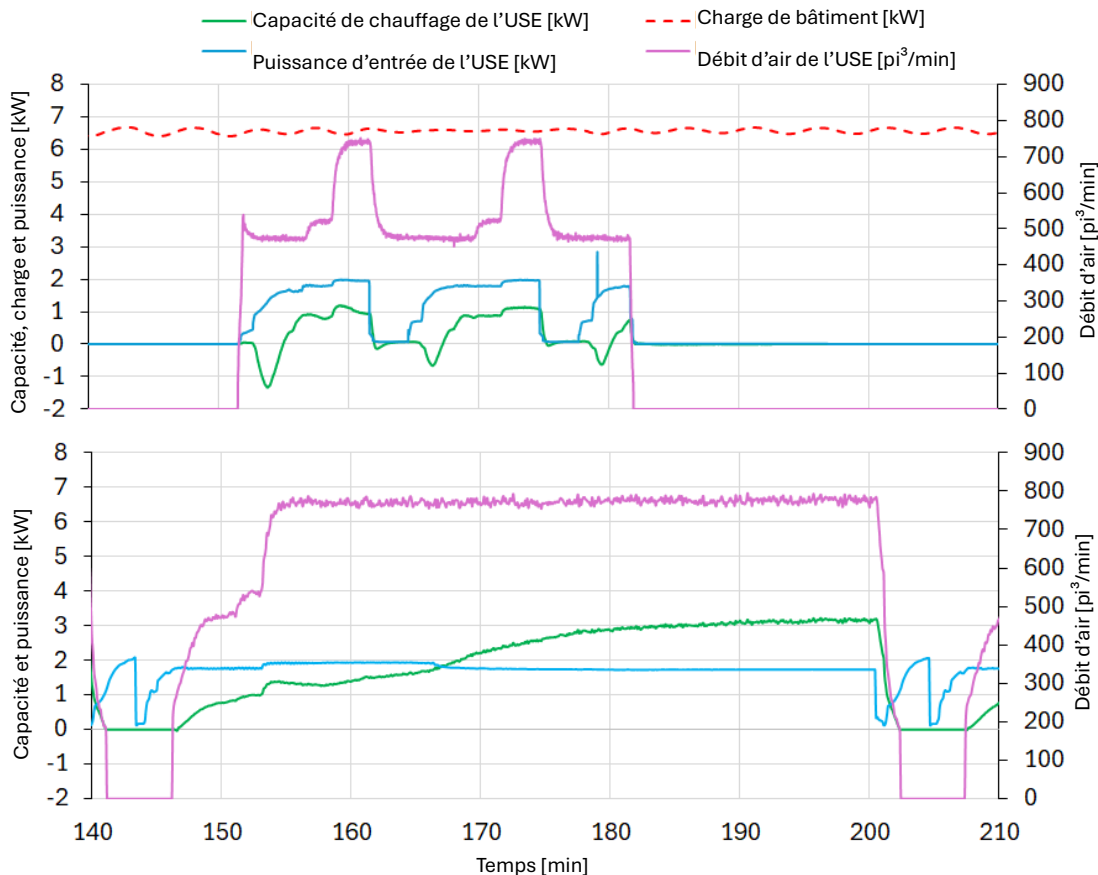


Figure 54. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de chauffage HL sur le continent (-25,0 °C)

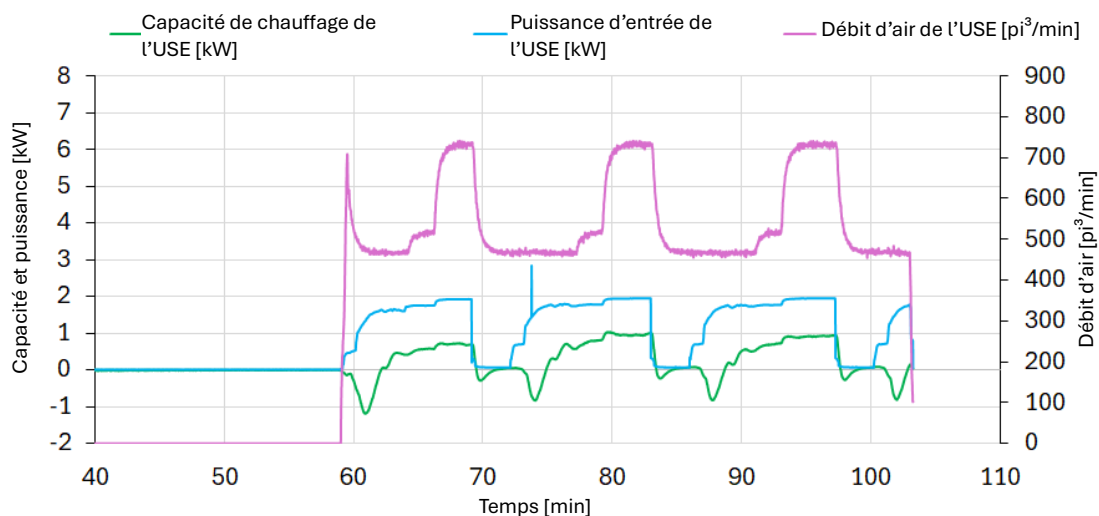


Figure 55. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN pour l'intervalle d'essai de chauffage HL sur le continent (-25,0 °C) à l'aide d'une charge de réfrigérant d'usine de 3 lb 12 oz

3.2.2. Résumé de l'essai de classement de refroidissement

Une série complète d'essais d'apprentissage et de classement de refroidissement de la procédure SPE-07 (à l'exception de l'essai de refroidissement à sec CA [45 °C]) a été réalisée dans les installations du laboratoire A et de RNCAN à l'aide de l'unité C pour évaluer la reproductibilité. Les résultats de la capacité, de la puissance d'entrée, du CP de refroidissement et du SCOP_c sont présentés ci-dessous, les résultats des essais du laboratoire A servant de référence par rapport auxquels les résultats de RNCAN sont comparés. Plusieurs essais sont analysés en détail pour appuyer la discussion sur les différences de comportement de l'équipement et pour examiner les limites de la reproductibilité. Les zones ombragées en vert dans les figures représentent la période de convergence dans les cas où plus de données sont présentées. Les figures présentant les résultats de la température du thermomètre sec intérieure et extérieure comportent une ligne bleue en pointillés pour la température du thermomètre sec intérieure cible et une ligne rouge en pointillés pour la température du thermomètre sec extérieure cible. Pour des résultats d'essai plus détaillés, voir la section 7.1.2.

La série d'essais d'apprentissage sur le refroidissement a déterminé que les essais CE à CC dans des conditions sèches devaient être des essais de suivi de charge, tandis que l'essai CB dans des conditions sèches était un essai à pleine charge. Les conditions de charge d'essai étaient cohérentes entre les installations dans des conditions sèches. Toutefois, il y avait des différences considérables entre les installations d'essai dans des conditions humides, comme il est présenté dans le Tableau 11. L'unité C n'a pu maintenir une charge à la température du thermomètre sec intérieure souhaitée qu'à l'intervalle d'essai CE dans des conditions humides. Il a été déterminé qu'une dérive considérable du capteur de température du thermostat s'était produite, et aucun thermostat de remplacement ne pouvait être fourni à temps pour les essais. Aucun décalage de température intégré n'était disponible, ce qui aurait pu être utilisé pour corriger cette dérive.

Tableau 11. Points de réglage du thermostat de l'unité C en mode refroidissement pour RNCan et le laboratoire A, comme il a été déterminé par les essais de la série d'apprentissage sur le refroidissement

Essai	Température du thermomètre sec extérieure, °F (°C)	Contrôle de la température du thermomètre sec intérieure cible, °F (°C)	TSTAT, °F (°C) (RNCan)	TSTAT, °F (°C) (laboratoire A)
CE_D	77 (25)	79 (26,1)	78 (25,6)	80 (26,7)
CD_D	86 (30)	79 (26,1)	76 (24,4)	80 (26,7)
CC_D	95 (35)	79 (26,1)	76 (24,4)	80 (26,7)
CB_D	104 (40)	Min.	Min. (67 [19,4])	Min. (67 [19,4])
CE_H	77 (25)	74 (23,3)	67 (19,4)	74 (23,3)
CD_H	86 (30)	74 (23,3)	Min. (67 [19,4])	72 (22,2)
CC_H	95 (35)	74 (23,3)	Min. (67 [19,4])	72 (22,2)
CB_H	104 (40)	Min.	Min. (67 [19,4])	Min. (67 [19,4])

À la suite des essais de la série d'apprentissage sur le refroidissement, les essais de classement de refroidissement ont été réalisés dans l'ordre de la charge la plus basse à la charge la plus élevée.

La dérive du capteur de température du thermostat précédemment noté rend les résultats de l'essai de refroidissement dans des conditions humides et, par conséquent, le SCOP_c invalides. Toutefois, il existe des résultats d'essai qui méritent d'être explorés en vue d'évaluer et d'accroître la reproductibilité.

Les résultats de la capacité de refroidissement totale, qui incluent les capacités de refroidissement latent et sensible, sont présentés dans la Figure 56 et la Figure 57 pour des conditions sèches et humides respectivement.

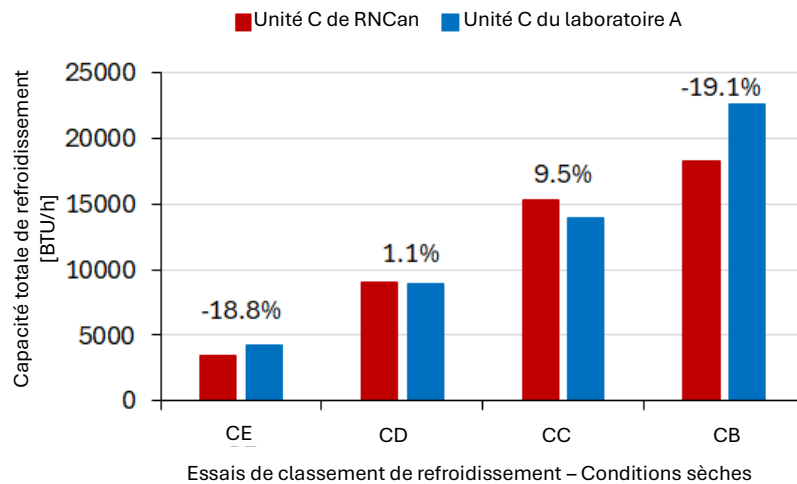


Figure 56. Capacité totale de refroidissement de l'unité C, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A

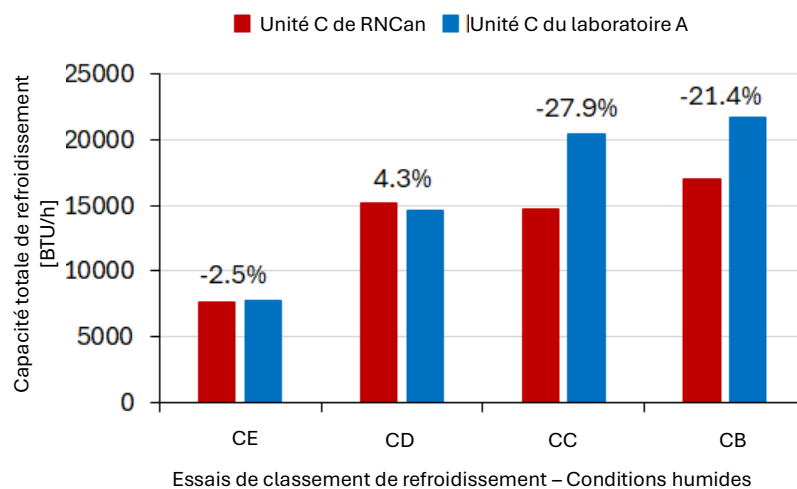


Figure 57. Capacité totale de refroidissement de l'unité C, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A

La consommation d'énergie intégrée de l'USE est présentée dans Figure 58 et Figure 59 pour des conditions sèches et humides respectivement.

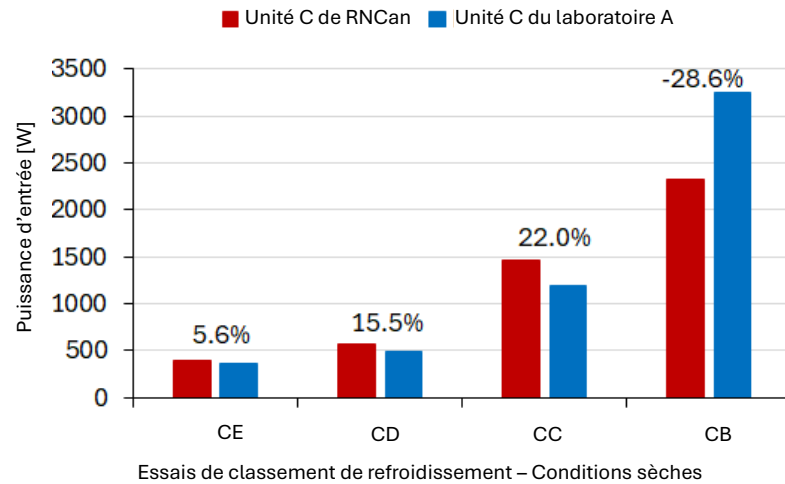


Figure 58. Puissance d'entrée de refroidissement de l'unité C, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A

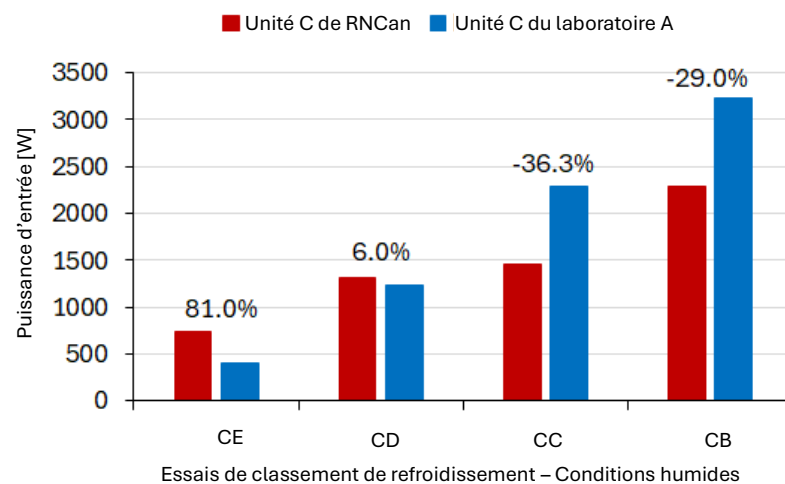


Figure 59. Puissance d'entrée de refroidissement de l'unité C, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A

Les essais de classement du CP résultants sont présentés dans Figure 60 et Figure 61 pour des conditions climatiques sèches et humides respectivement.

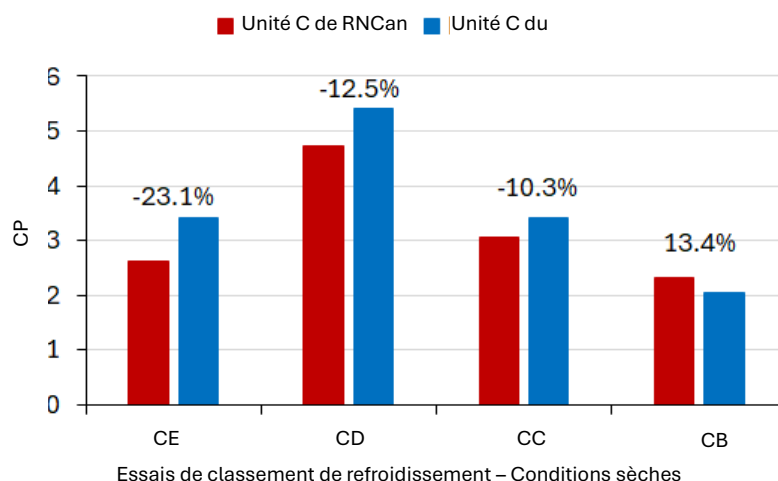


Figure 60. CP de refroidissement de l'unité C, dans des conditions sèches, résultats de RNCAN et du laboratoire A

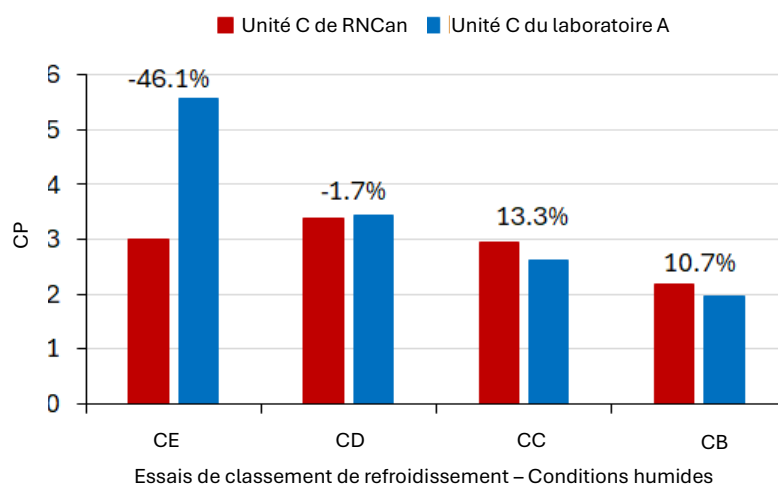


Figure 61. CP de refroidissement de l'unité C, dans des conditions humides, résultats de RNCAN et du laboratoire A

En fin de compte, le SCOP_c pour les compartiments de refroidissement est présenté dans la Figure 62 et le Tableau 12. La différence moyenne entre toutes les régions climatiques entre le laboratoire A et le SCOP_c de RNCAN était de 15,8 %, avec un écart type de 5,1 %. Cela a démontré une reproductibilité « faible » pour l'unité C pendant les essais en mode refroidissement. Les essais de classement CE dans des conditions sèches, CE dans des conditions humides, CC dans des conditions sèches et CB dans des conditions humides seront abordés plus en détail ci-dessous.

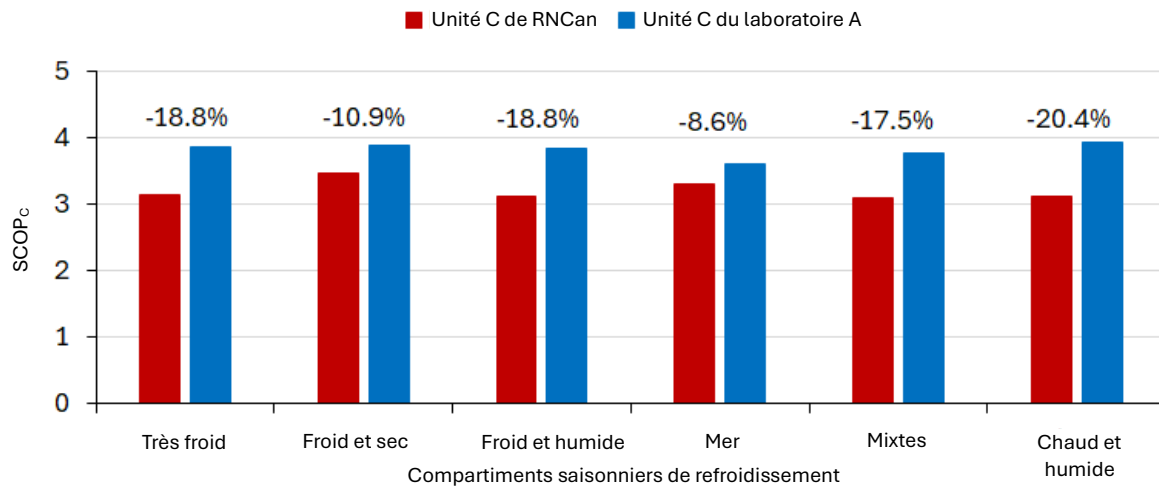


Figure 62. SCOP_c de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A

Tableau 12. SCOP_c de l'unité C, résultats de RNCAN et du laboratoire A

	Très froid	Froid et sec	Froid et humide	Mer	Mixtes	Chaud et humide
Laboratoire A	3,86	3,88	3,84	3,61	3,76	3,93
RNCAN	3,13	3,46	3,12	3,30	3,10	3,13
ΔSCOP [%]	18,84	10,87	18,75	8,59	17,51	20,44

3.2.1. Résultats des essais de refroidissement individuels

3.2.1.1. Intervalle d'essai de refroidissement CE dans des conditions sèches (25 °C)

Figure 63 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement CE dans des conditions sèches (25 °C) pour la capacité, la charge du bâtiment et la puissance d'entrée de l'USE à RNCAn et au laboratoire A. Cet intervalle d'essai était à charge partielle et a duré quatre heures, comme l'exige la procédure SPE-07. Un comportement cyclique a été observé dans les deux installations, avec des temps de cycle relativement similaires de 20 minutes. Toutefois, la capacité de refroidissement moyenne pendant un cycle de fonctionnement, comme le montre Figure 64, était de 1,40 kW au laboratoire A et de 1,14 kW à RNCAn, tandis que la puissance d'entrée était de 0,43 kW au laboratoire A et de 0,44 kW à RNCAn. La différence de capacité observée dans la Figure 64 pourrait être le résultat du fait que le laboratoire A utilise une sonde platine de ¼ de pouce dans un psychromètre aspiré pour calculer la capacité, tandis que RNCAn a utilisé un réseau de capteurs thermocouples dans le flux d'air. Cette différence dans l'instrumentation pourrait entraîner un retard dans la mesure au laboratoire A, ce qui se traduirait par des « pics » et des « creux » d'amplitude inférieure. Le résultat est une capacité de refroidissement intégrée supérieure de 18,8 % au laboratoire A. Le CP intégré était donc inférieur de 23,1 % à RNCAn.

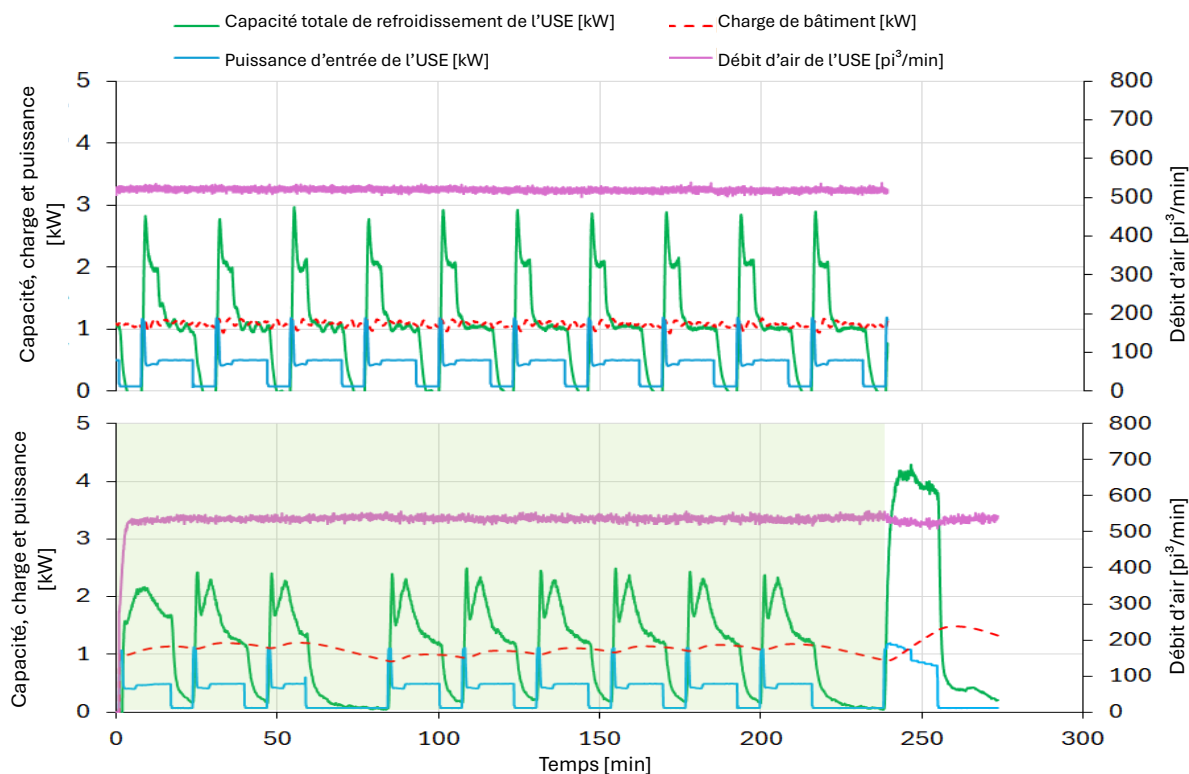


Figure 63. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAn (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat sec (25 °C)

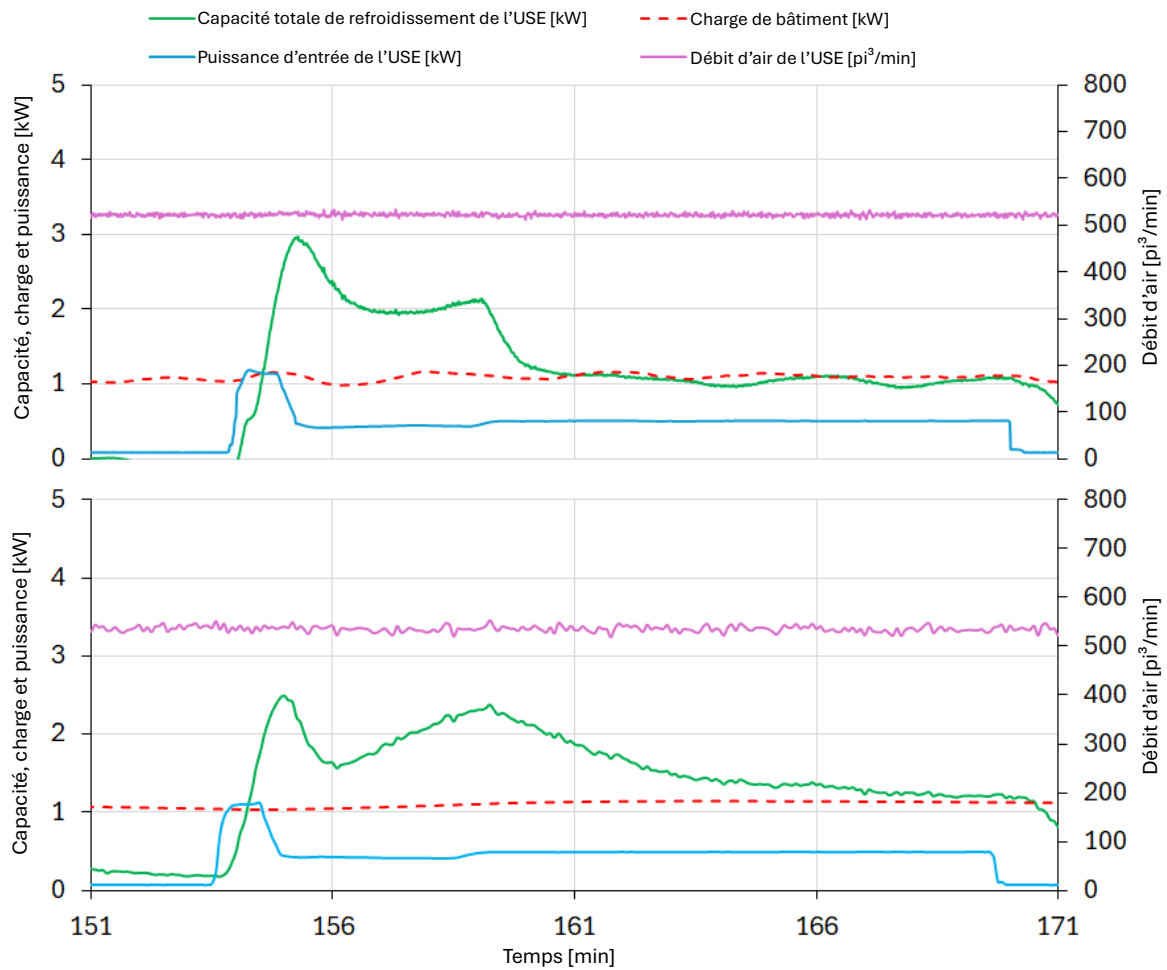


Figure 64. Intervalle d'essai CE dans un climat sec sur la capacité du cycle, la puissance d'entrée, la charge et le débit d'air de l'unité C

Figure 65 montre les températures du thermomètre sec intérieures et extérieures pendant l'intervalle d'essai CE dans des conditions sèches de l'unité C. Dans cet essai, l'USE ne surmontait pas une charge de bâtiment considérable et elle a pu maintenir le point de réglage dans les deux installations.

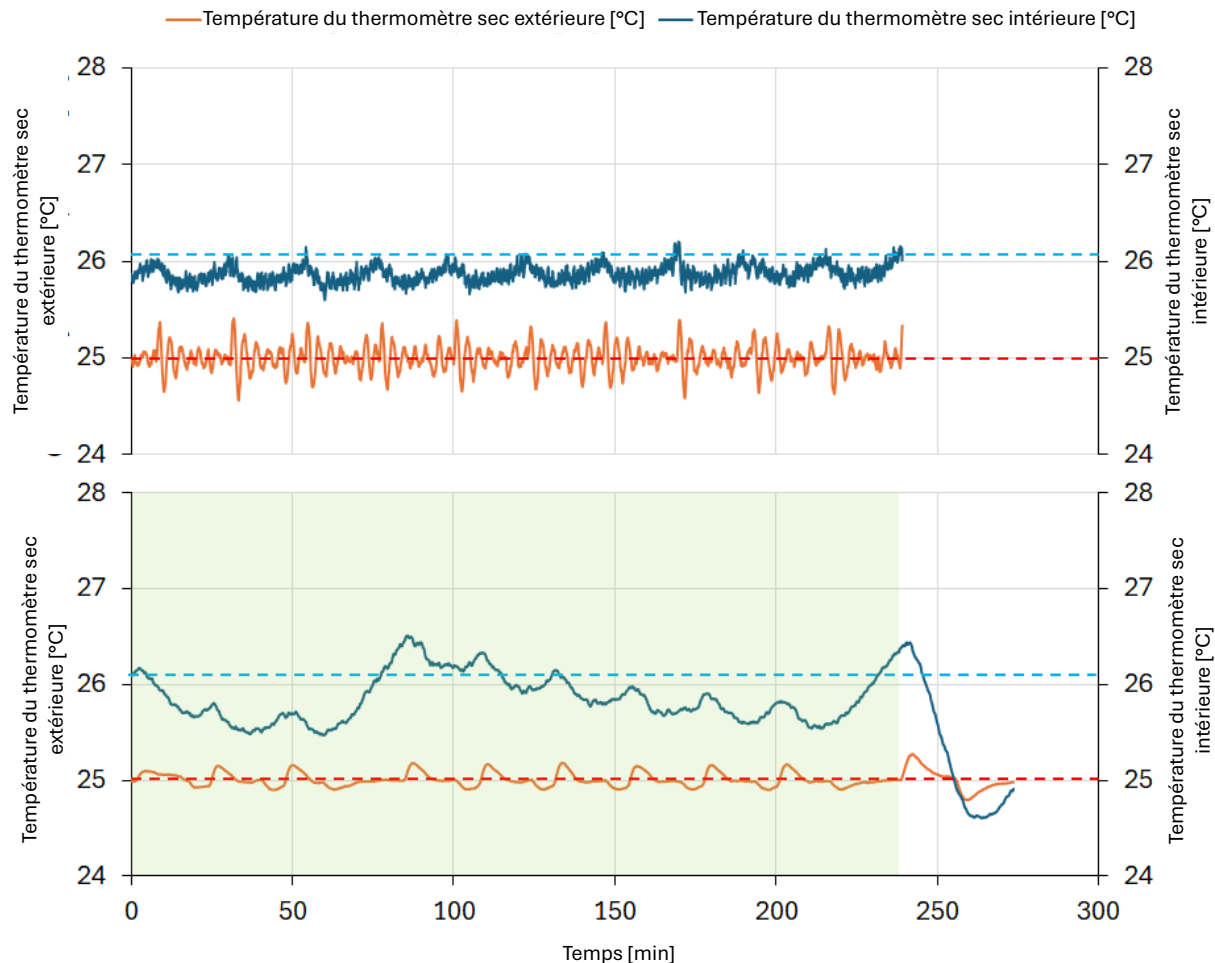


Figure 65. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat sec (25 °C)

3.2.1.2. Intervalle d'essai de refroidissement CE dans des conditions humides (25 °C)

Figure 66 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement CE dans des conditions humides (25 °C) pour la capacité, la charge du bâtiment et la puissance d'entrée de l'USE à RNCan et au laboratoire A. Cet intervalle d'essai était à charge partielle et a duré quatre heures, comme l'exige la procédure SPE-07. RNCan a observé un cycle régulier, tandis que le laboratoire A a observé un mélange de comportement à l'état stable et de comportement cyclique. Cela a entraîné des variations de charge de bâtiment plus importantes au laboratoire A. Le débit d'air était considérablement plus élevé à RNCan avec une moyenne de 720 pi³/min, comparativement à celle de 520 pi³/min au laboratoire A.

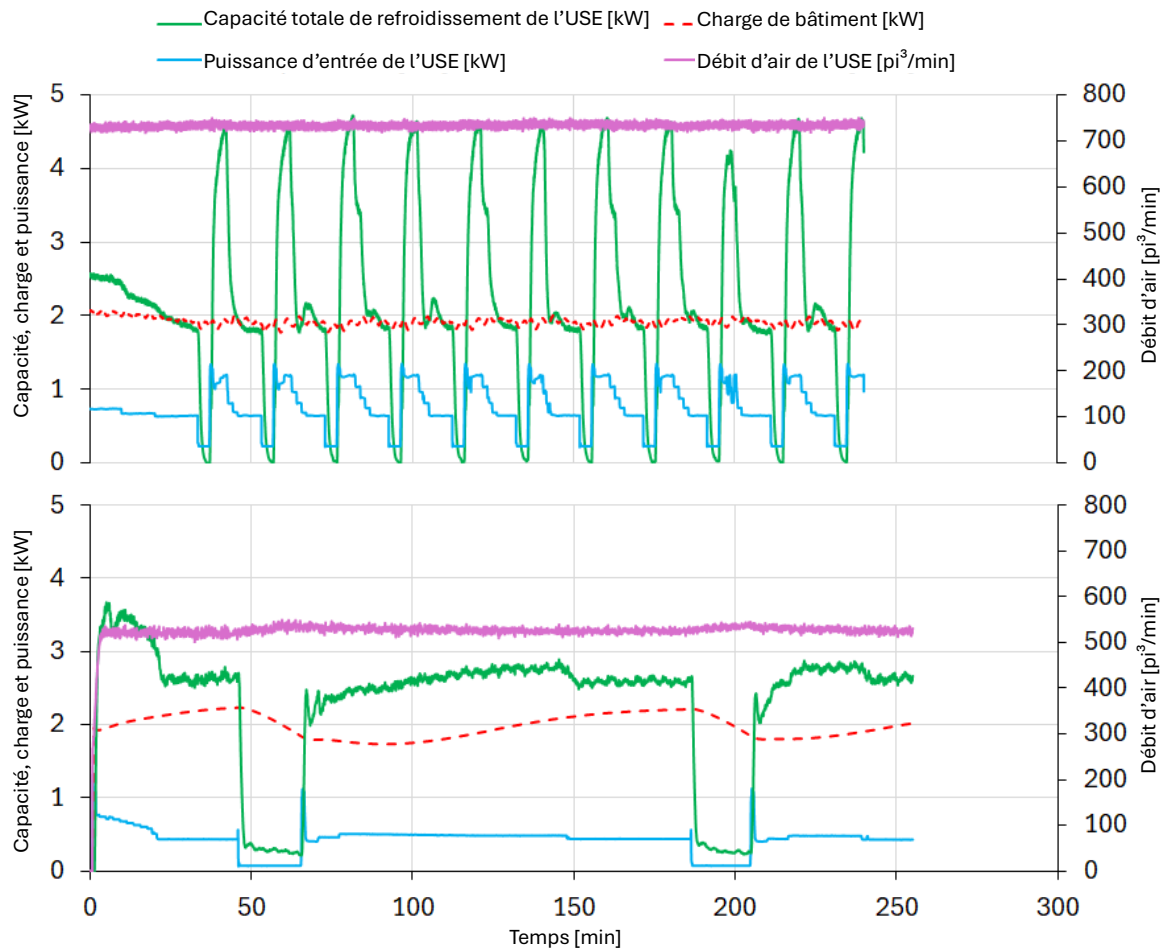


Figure 66. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat humide (25 °C)

Figure 67 montre les températures du thermomètre sec intérieures et extérieures pendant l'intervalle d'essai CE dans des conditions humides pour l'unité C. L'USE a pu maintenir le point de réglage du thermostat dans les deux installations, mais l'a fait de différentes manières, comme le reflètent les données de température intérieure. RNCan a observé le cyclage de l'USE à de courts intervalles, ce qui a entraîné une température intérieure relativement stable. En revanche, le laboratoire A a observé des cycles plus longs, ce qui a entraîné des variations plus marquées de la température intérieure, car la capacité est restée au-dessus de la ligne de charge du bâtiment plus longtemps. La différence de comportement peut être attribuable à une réponse différente du thermostat, qui, comme il a été abordé ci-dessus, a connu une dérive considérable du capteur de température à RNCan et a donc exigé des points de réglage différents pour atteindre la même température intérieure cible de 23,3 °C.

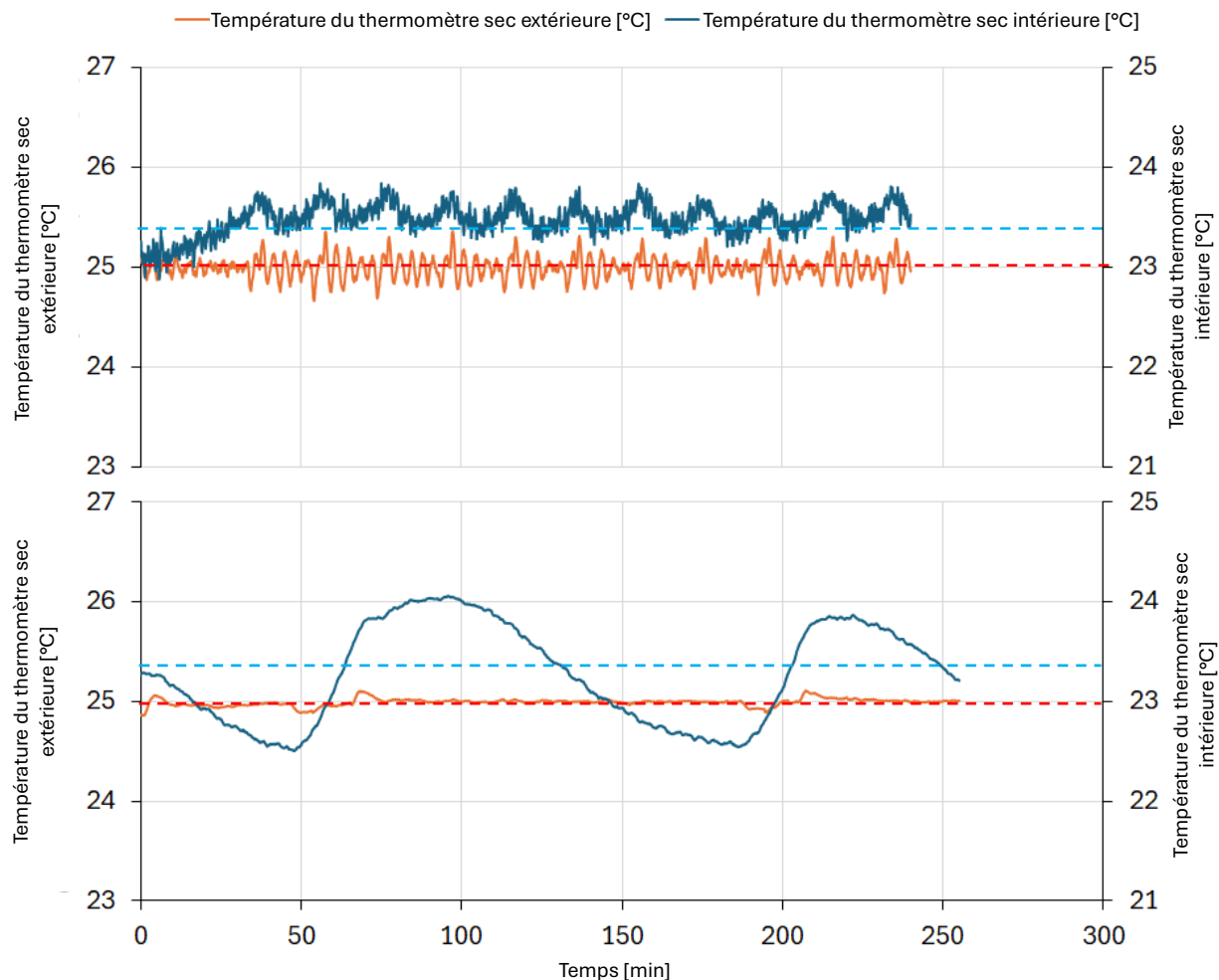


Figure 67. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCan (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CE dans un climat humide (25 °C)

3.2.1.3. Intervalle d'essai de refroidissement CC dans des conditions sèches (35 °C)

Figure 68 et la Figure 69 montrent le comportement de l'unité C pendant l'intervalle d'essai CC dans des conditions sèches (35 °C) à RNCan et au laboratoire A, respectivement. RNCan a réalisé un essai de série d'apprentissage qui a abouti à un point de réglage du thermostat de 76 °F (24,4 °C) pour maintenir la température cible du thermomètre sec intérieure de 26,1 °C. Toutefois, pendant l'essai de classement, l'appareil mis à l'essai n'a pas pu maintenir le point de réglage de température intérieure et a été converti en essai à pleine charge après 90 minutes. L'intervalle d'essai à pleine charge a convergé sur deux périodes de 20 minutes et est présenté dans la Figure 68. Pendant cet essai à pleine charge, l'unité C a maintenu une capacité de refroidissement totale d'environ 4,5 kW avec une puissance d'entrée de 1,5 kW. En revanche, le laboratoire A a réussi à réaliser un essai à charge partielle avec une capacité de refroidissement intégrée de 4 kW et une puissance d'entrée de 1,2 kW. Cela a entraîné une réduction de 10,3 % du CP à RNCan.

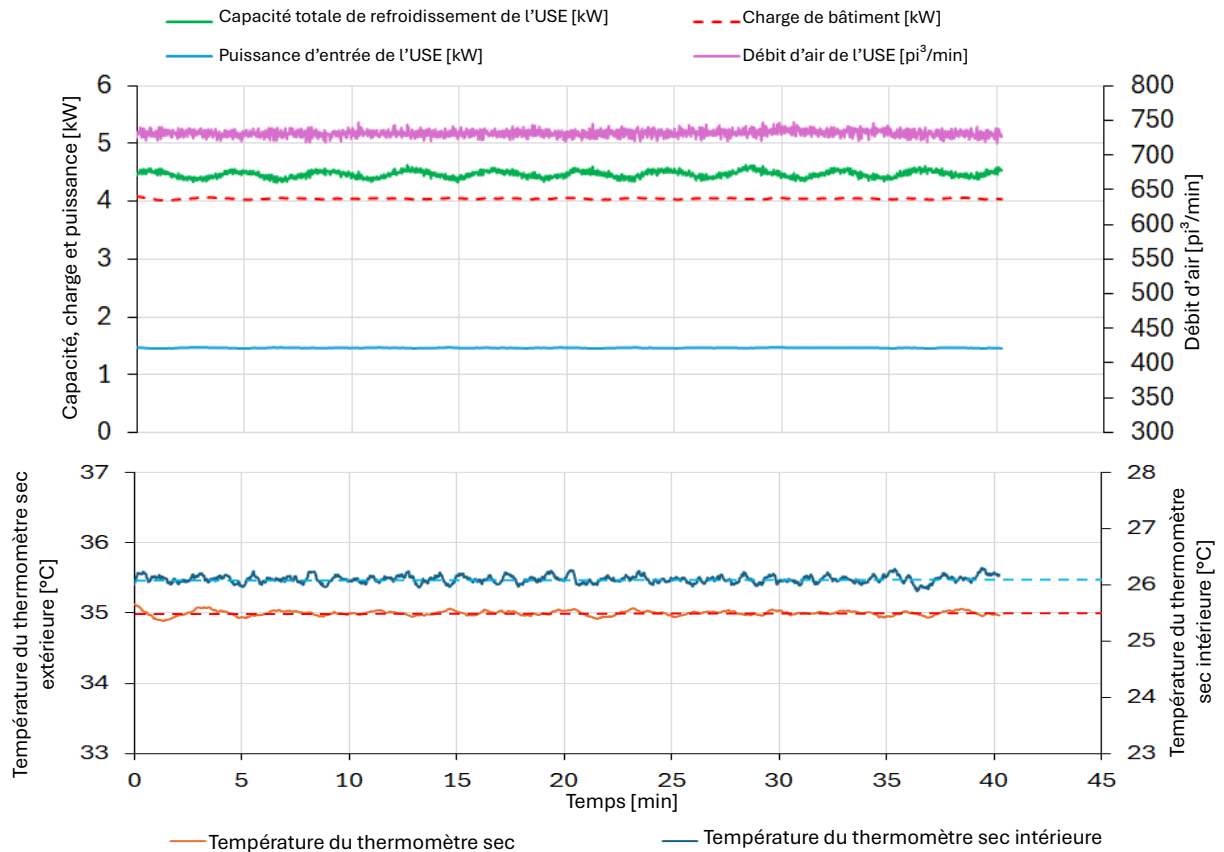


Figure 68. Résultats de l'essai de l'unité C à RNCan pour l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C)⁵

⁵ **Remarque :** Figure 68 et la Figure 69 sont séparées par installation d'essai, car elles n'ont pas convergé en fonction du même critère et ont donc des durées d'essai différentes.

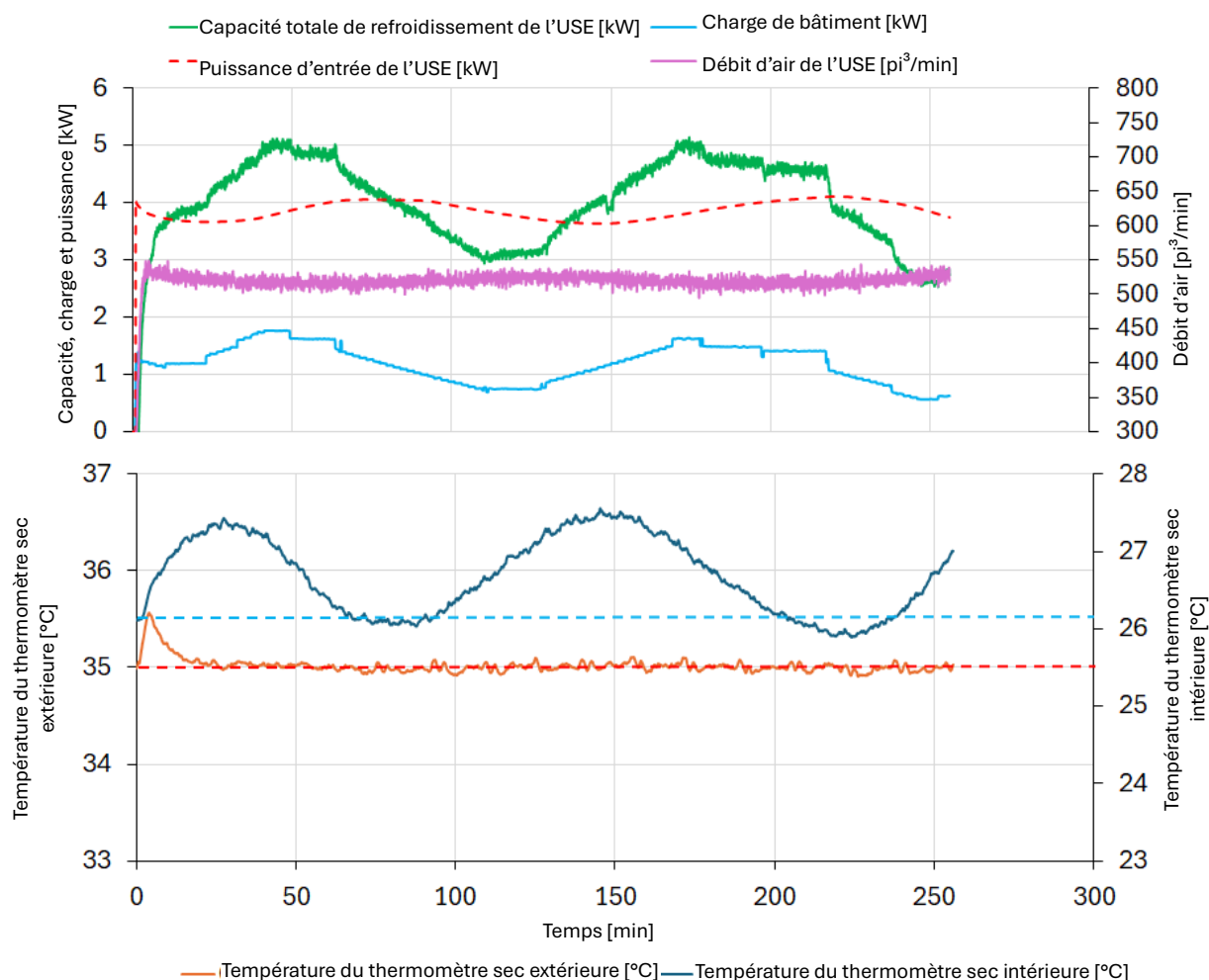


Figure 69. Résultats de l'essai de l'unité C au laboratoire A pour l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C)

Figure 70 et la Figure 71 présentent une répartition de la capacité de refroidissement sensible par rapport à la capacité de refroidissement latent à RNCan et au laboratoire A, respectivement. Parce que la charge de bâtiment virtuel sensible est calculée en utilisant la capacité sensible de l'USE, nous pouvons voir la façon dont RNCan n'a pas été en mesure de maintenir le point de réglage du thermostat intérieur avec une capacité de refroidissement sensible légèrement supérieure à la charge de bâtiment virtuel, avec 4,2 kW à plein rendement, tandis que le laboratoire A a pu atteindre une capacité de refroidissement sensible culminant à 4,7 kW, ce qui était suffisant pour refroidir la chambre intérieure. Les charges de bâtiment virtuel latentes étaient similaires dans les deux installations, et l'USE a atteint un rapport de mélange intégré de 0,008 6 à RNCan et de 0,008 3 au laboratoire A. Cet essai démontre un cas où l'USE était à la limite de sa capacité à pleine charge, ce qui a entraîné deux conditions d'essai différentes dans des installations différentes.

Le problème peut se trouver dans le décalage du point de réglage du thermostat entre les installations. Le laboratoire A a utilisé un point de réglage de 80 °F (26,7 °C), tandis que RNCan a utilisé un point de réglage de 76 °F (24,4 °C) pendant le démarrage de son essai de classement. Cette différence de 4 °F (2,2 °C) dans le point de réglage peut avoir déclenché une réponse de

capacité différente de la part du thermostat. Après plus de 90 minutes, l'équipement peut avoir ajusté sa capacité cible souhaitée à RNCAN et atteint son point de réglage du thermostat. Toutefois, l'essai a été automatisé et n'a pas pu fonctionner pendant plus de 90 minutes en mode de suivi de charge en raison de l'exigence de la procédure SPE-07 de maintenir une température ambiante intérieure dans une plage de 2 °F (1,1 °C) par rapport à la température ambiante intérieure cible. L'essai CB dans des conditions humides (40 °C) ci-dessous renforce cette hypothèse, car l'USE a pu fournir des capacités de refroidissement plus élevées dans des conditions de charge plus élevées, ce qui signifie que les limites observées à RNCAN dans cet intervalle d'essai pourraient avoir été induites par le thermostat.

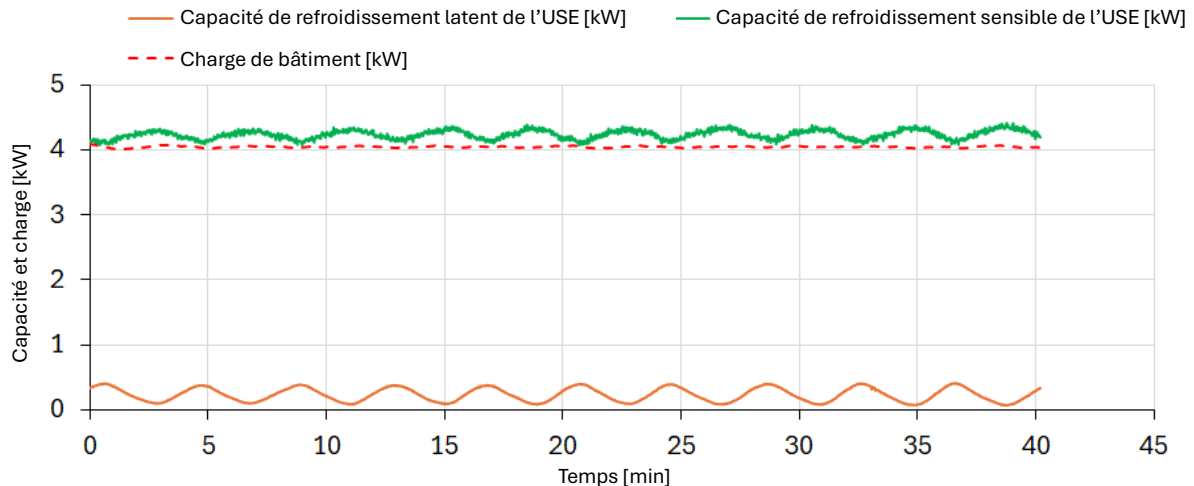


Figure 70. Capacité latente et sensible de l'unité C par rapport à la charge du bâtiment pendant l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C) à RNCAN

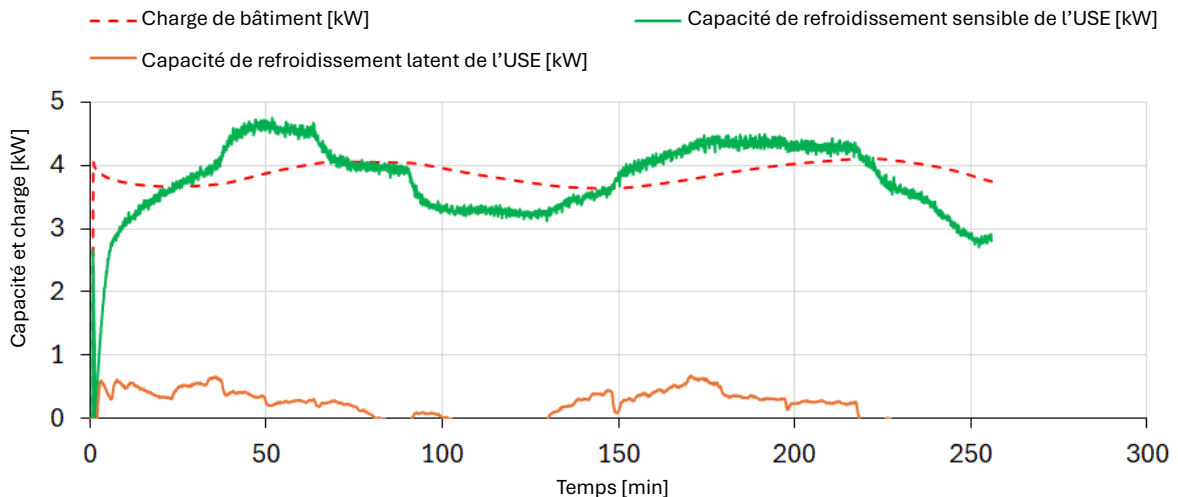


Figure 71. Capacité latente et sensible de l'unité C par rapport à la charge du bâtiment pendant l'intervalle d'essai de refroidissement CC dans un climat sec (35 °C) au laboratoire A

3.2.1.4. Intervalle d'essai de refroidissement CB dans des conditions humides (40 °C)

Figure 72 montre le comportement de l'intervalle d'essai de classement CB dans des conditions humides (40 °C) de la capacité de l'USE, de la charge du bâtiment, de la puissance d'entrée et du débit d'air à RNCAN et au laboratoire A. Cet essai était un intervalle à pleine charge dans les deux installations et a atteint la convergence en 40 minutes, avec deux périodes d'exploitation à l'état stable de 20 minutes. La capacité de refroidissement totale était supérieure de 1,35 kW au laboratoire A. La puissance d'entrée était également plus élevée au laboratoire A d'environ 1 kW. Cela a entraîné un CP supérieur de 10,7 % à RNCAN. La différence dans la réponse de l'USE peut être attribuable au décalage de température du thermostat observé plus tôt pendant les essais entre les installations. Une différence de point de réglage plus élevée par rapport à la température mesurée peut avoir induit une réponse à condition de charge plus élevée de l'équipement. Malheureusement, aucune fonction de compensation de température du thermostat n'existait dans le thermostat de l'unité C, et le réglage utilisé était le plus bas disponible de l'appareil.

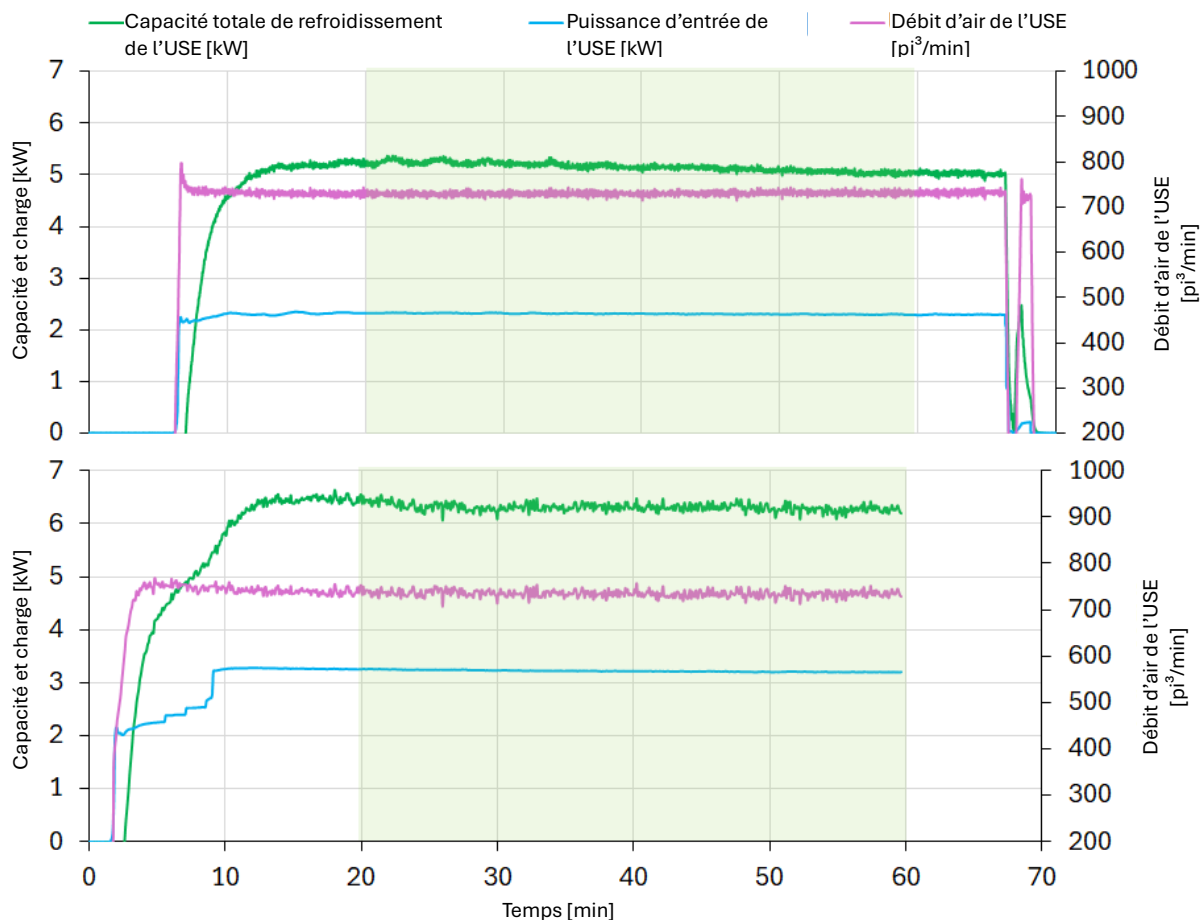


Figure 72. Résultats en matière de capacité, de charge du bâtiment et de puissance d'entrée de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CB dans un climat humide (40 °C)

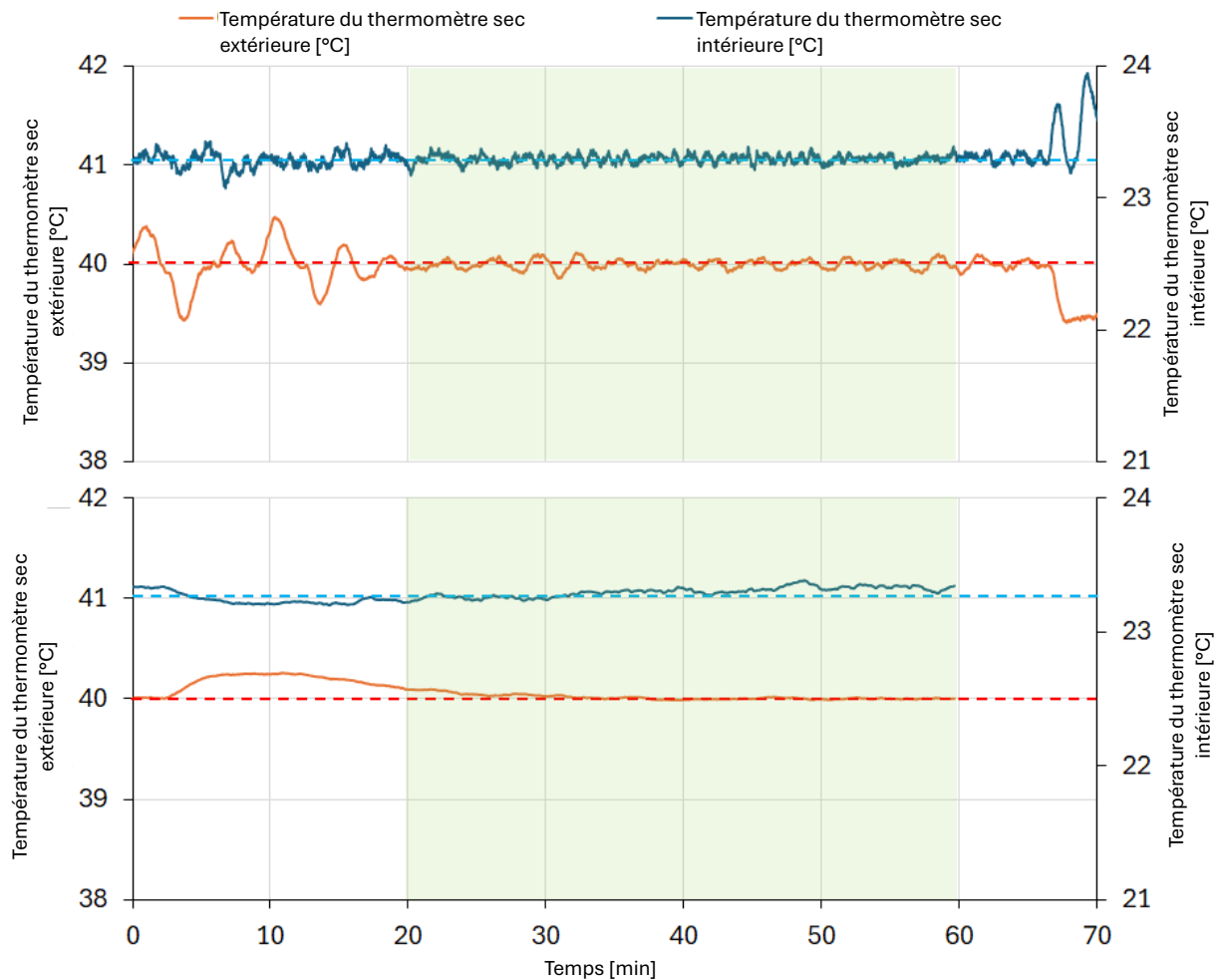


Figure 73. Variations de température intérieure et extérieure de l'unité C à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas) pour l'intervalle d'essai de refroidissement CB dans un climat humide (40 °C)

4.0. Discussion

4.1. Unité A

Avec une différence moyenne de 8,8 % dans le SCOP de chauffage et de 8,6 % dans le SCOP de refroidissement, l'unité A a atteint une reproductibilité « moyenne ». En mode chauffage, la capacité de l'unité A a été adéquatement reproduite dans les deux laboratoires, certains intervalles à charge réduite étant des valeurs aberrantes. Toutefois, ces mêmes intervalles à charge inférieure, tels que HF (12,2 °C) et HE (8,3 °C), étaient également caractérisés par une consommation d'énergie plus élevée, ce qui a compensé les capacités plus élevées et a permis d'obtenir de bons résultats en matière de reproductibilité en ce qui a trait au CP. Par ailleurs, les essais de chauffage à charge plus élevée ont obtenu une bonne reproductibilité en matière de capacité de chauffage, mais ont consommé plus d'énergie en conséquence, ce qui a entraîné des CP plus bas à RNCAN. En fait, RNCAN a observé une puissance d'entrée plus élevée pour tous les essais de classement de chauffage. La désagrégation de la puissance d'entrée entre les unités intérieures et extérieures n'a pas révélé l'origine de cette différence, avec une répartition proportionnelle entre les deux unités à chaque intervalle d'essai.

Les intervalles d'essai où des opérations de dégivrage ont eu lieu, comme HC (-8,3 °C), ont entraîné des problèmes liés à la puissance d'entrée. Comme il est présenté dans la section 3.1.2.3, le ventilateur intérieur de l'unité A est resté en marche pendant les opérations de dégivrage; ce qui n'est pas courant dans les TCF d'aujourd'hui. Le laboratoire A n'a pas pris en compte la charge de refroidissement introduite par le fait que le ventilateur de l'unité intérieure demeure en marche pendant les opérations de dégivrage et n'a donc pas correctement intégré cet effet dans sa détermination de la charge virtuelle du bâtiment, ce qui aurait touché la charge réelle subie par l'USE et sa réponse connexe. Par ailleurs, RNCAN a observé la capacité chuter à -3,5 kW, ajoutant une charge considérable que l'USE devait récupérer. La réponse de l'USE a donc divergé entre les installations à ce stade, entraînant une reproductibilité faible pour cette condition d'essai. Néanmoins, le comportement de l'équipement semblait avoir été cohérent entre les installations pendant ces intervalles d'essai, ce qui donne du crédit à l'hypothèse selon laquelle les CP auraient été plus proches si cette erreur n'avait pas été présente dans l'analyse du laboratoire A.

En mode de refroidissement, la capacité de l'unité A a été bien reproduite entre le laboratoire A et RNCAN, avec l'intervalle d'essai CE dans des conditions sèches (25 °C) étant un cas particulier. Cependant, comme cela a été observé pendant les essais en mode chauffage, la puissance d'entrée était plus élevée à RNCAN qu'au laboratoire A, ce qui a entraîné des CP globaux plus bas à RNCAN. L'intervalle d'essai CE dans des conditions humides avait le plus grand écart dans le CP de refroidissement entre les installations. Une analyse approfondie du comportement de l'USE pendant cet intervalle a révélé que des cycles plus longs et plus intenses ont été observés à RNCAN. Ce comportement a entraîné une utilisation accrue d'énergie par l'USE pour maintenir la même température du thermomètre sec intérieure cible. Cette tendance a de nouveau été observée pendant l'intervalle d'essai CC dans des conditions sèches (35 °C) et a entraîné un CP inférieur de 10,2 % à RNCAN.

Aucun problème n'a été observé dans l'utilisation de l'émulateur d'environnement du thermostat pendant les essais de l'unité A à RNCAN. Cependant, certains problèmes possibles ont été

soulevés concernant le thermostat de l'USE placé à l'intérieur de l'EET. RNCAN a reçu le thermostat à la suite des essais du laboratoire A, avec le mode de circulation d'air du ventilateur réglé à « Élevé ». Cela n'était pas conforme au mode de fonctionnement attendu pour les essais de la procédure SPE-07, qui exige généralement une configuration de thermostat « par défaut », avec quelques exceptions. À la suite de la consultation avec le laboratoire A, RNCAN a réglé le thermostat au mode de circulation d'air intérieur « Auto » et a effectué les essais d'apprentissage et d'évaluation du refroidissement à l'aide de ce mode. Cependant, les essais initiaux en mode de chauffage ont révélé un comportement de l'unité intérieure qui n'était pas cohérent avec ce qui avait été observé au laboratoire A, et un retour au mode de circulation d'air intérieur « Élevé » a été effectué. Cela a introduit une incertitude concernant la configuration du thermostat entre les installations qui n'a jamais été résolue. Dans certains intervalles d'essai de classement, tels que HC, RNCAN a observé des débits d'air inférieurs qui pourraient s'expliquer par un mode de fonctionnement différent du thermostat. Cette incertitude concernant la configuration du thermostat pourrait être résolue en créant une liste ou des notes des réglages dans le modèle de déclaration de la procédure SPE-07 qui pourraient être utilisés pour confirmer les modes de fonctionnement, si des réglages autres que ceux par défaut étaient utilisés.

4.2. Unité C

Les essais de l'unité C ont montré une différence moyenne de SCOP de chauffage de 9,8 % et une différence moyenne de SCOP de refroidissement de 15,8 % entre le laboratoire A et RNCAN, ce qui a entraîné une reproductibilité relativement faible. La capacité de chauffage de l'unité C était cohérente entre les installations pendant les intervalles d'essai de suivi de charge. En revanche, les intervalles d'essai à pleine charge ont révélé un décalage plus profond dans la performance de l'équipement entre les laboratoires. L'essai HC (-8,3 °C), présenté dans la section 3.2.1.2, a mis en évidence la façon dont les capacités à pleine charge différaient entre les installations d'essai. Pendant les essais de répétabilité effectués au laboratoire A, l'un de ces essais de chauffage réalisés pendant l'intervalle HC a entraîné une capacité intégrée et une puissance d'entrée plus élevées. Ce résultat est plus étroitement harmonisé avec ce qui a été observé à RNCAN. Cette divergence était de nouveau présente dans l'intervalle d'essai HB, où RNCAN a observé une réponse de capacité plus élevée, entraînant un CP plus bas. Une des conclusions tirées des essais à pleine charge de chauffage était que le critère de convergence dans ce cas devrait être fondé sur trois périodes consécutives de fonctionnement à l'état stable de 20 minutes, au lieu de deux. Ce temps supplémentaire pour atteindre la convergence aurait presque certainement permis de capturer une opération de dégivrage dans l'unité C à RNCAN et aurait signifié que la convergence aurait probablement été fondée sur un cycle de dégivrage régulier ou un intervalle d'essai complet de six heures. Ce changement permettrait également d'harmoniser le critère de convergence davantage avec le critère de convergence 1 de la procédure SPE-07 pour le fonctionnement à charge partielle et à vitesse variable.

La capacité de refroidissement de l'unité C n'a montré aucune tendance cohérente en matière de reproductibilité pendant les intervalles d'essai CE (25 °C), CB (40 °C) dans des conditions sèches et CC (35 °C), avec CB (40 °C) dans des conditions humides présentant des écarts particulièrement importants par rapport aux résultats du laboratoire A. De même, la puissance d'entrée n'était pas cohérente entre les installations et n'était pas utile pour révéler une tendance qui faciliterait l'évaluation de la reproductibilité. Le thermostat était la plus grande source d'erreur pour les essais de classement de refroidissement, avec des écarts de point de réglage

du thermostat considérables déterminés pendant les essais de la série d'apprentissage sur le refroidissement observés à RNCAN et montrés dans le Tableau 11. Sans décalage de température du thermostat disponible intégré dans le thermostat de l'unité C et sans thermostat de remplacement disponible, les essais ont été réalisés avec les points de réglage déterminés pendant les essais de la série d'apprentissage. Les essais de refroidissement dans des conditions humides ont été les plus touchés par cette décision, car ils ont tous été réalisés à la température de thermostat la plus basse disponible de 67 °F, peu importe les températures du thermomètre sec intérieures cibles pour les intervalles d'essai. Les CP de refroidissement résultants ne sont donc pas utiles pour déterminer la reproductibilité de la procédure SPE-07.

Il est important de noter que la réponse de l'équipement de l'unité C a pu être influencée par l'écart entre la température ambiante et le point de réglage du thermostat. Concrètement, cela signifie que l'équipement aurait pu réagir différemment si le point de réglage avait été plus proche de la température ambiante pendant les intervalles d'essai à pleine charge. Dans cette situation, des solutions, telles que l'incorporation d'une fonction de décalage dans l'émulateur de l'environnement du thermostat, au lieu du thermostat de l'USE, pourraient être utiles pour garantir une réponse cohérente entre les installations. Cela éliminerait tout problème lié aux décalages de température du thermostat intégré, ou à leur absence.

4.3. Facteurs influençant la reproductibilité

4.3.1. Retard de l'instrumentation

La charge de bâtiment virtuel calculée en utilisant la capacité de l'USE signifie qu'elle dépend de l'instrumentation pour obtenir cette dernière. Il y a trois mesures principales à prendre pour calculer la capacité : les températures de reprise et d'alimentation de l'unité intérieure, et les pressions dans la station de mesure du débit d'air. La procédure SPE-07 permet la mesure des températures de reprise et d'alimentation de l'unité intérieure à l'aide d'une sonde platine dans un psychromètre aspiré ou d'un réseau de capteurs de température (généralement des thermocouples) dans le flux d'air, comme il est indiqué dans les clauses B.1.5.1.2. et B.1.5.1.3. En principe, ces deux méthodes de mesure ainsi que l'instrumentation utilisée entraîneront certaines différences. Figure 74 démontre la différence entre la mesure de température du thermomètre sec d'une sonde platine de ¼ de pouce de classe A du côté d'alimentation de l'unité intérieure et celle d'un réseau de thermocouples étalonnés dans le plénum utilisé à RNCAN. La réponse retardée, ou le « retard », présente dans la mesure de la sonde platine dans le psychromètre aspiré modifierait la TAS, comme elle est calculée par l'émulateur de charge virtuel. Cela pourrait à son tour amener l'USE à réagir et, par conséquent, à fonctionner différemment dans les laboratoires qui utilisent ces types de capteurs. La différence résultante est particulièrement importante dans une approche d'essai fondée sur la charge où de grandes fluctuations des températures de reprise et d'alimentation sont attendues (contrairement aux essais à l'état stable, avec des températures de reprise et d'alimentation relativement constantes une fois que les conditions d'état stable sont atteintes). L'ampleur de la différence de performance résultante n'est pas connue et pourrait être étudiée dans de futurs travaux.

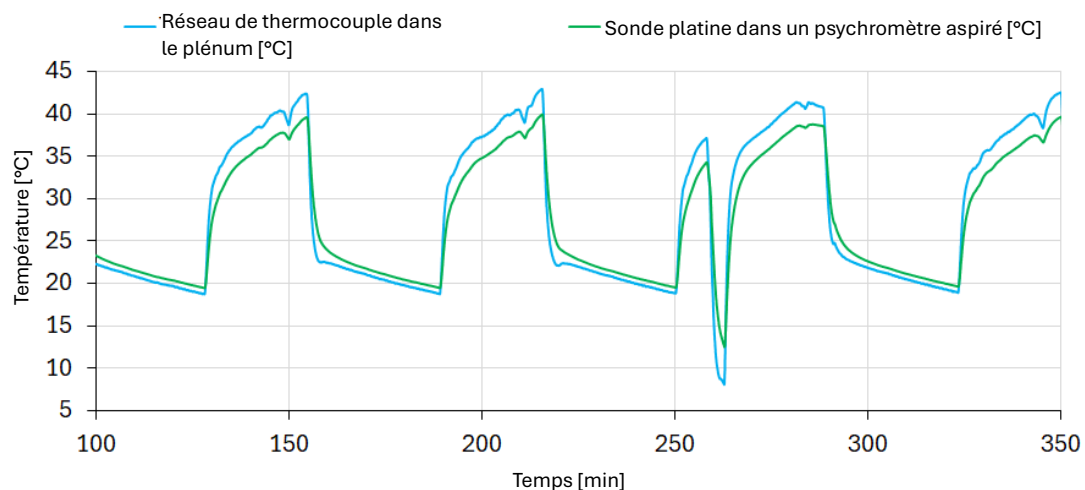


Figure 74. Différence dans la mesure de l'air d'alimentation entre une sonde platine dans un psychromètre aspiré et un réseau de thermocouples dans le flux d'air à RNCan

4.3.2. Retard de la réponse de la chambre intérieure

Comme il est indiqué dans la section 4.3.1, la charge du bâtiment virtuel, et la TAS subséquente, dépendent de mesures qui peuvent comporter un retard intrinsèque. Une autre source de retard est la vitesse de réponse de l'équipement de conditionnement de la chambre intérieure. Alors que l'émulateur de charge de bâtiment virtuel calcule la prochaine TAS et envoie le signal à l'équipement de conditionnement de la salle intérieure pour répondre en conséquence, l'USE peut momentanément connaître une température de reprise différente de celle prévue, modifiant ainsi la charge qu'elle tente de surmonter. Ce retard entre la rétroaction du capteur et la réponse de l'équipement de conditionnement peut être de l'ordre de quelques minutes et peut modifier de manière considérable la reproductibilité des résultats, comme l'a découvert l'Université Waseda[12]. Figure 75 présente la différence entre une chambre intérieure avec presque aucun retard entre la température de l'air de reprise de l'USE et la TAS, et une chambre avec environ 3 à 5 minutes de retard. Bien que les deux installations d'essai aient maintenu les tolérances d'exploitation et de condition, le retard possible dans la réponse de l'USE peut entraîner des différences dans la performance globale des essais.

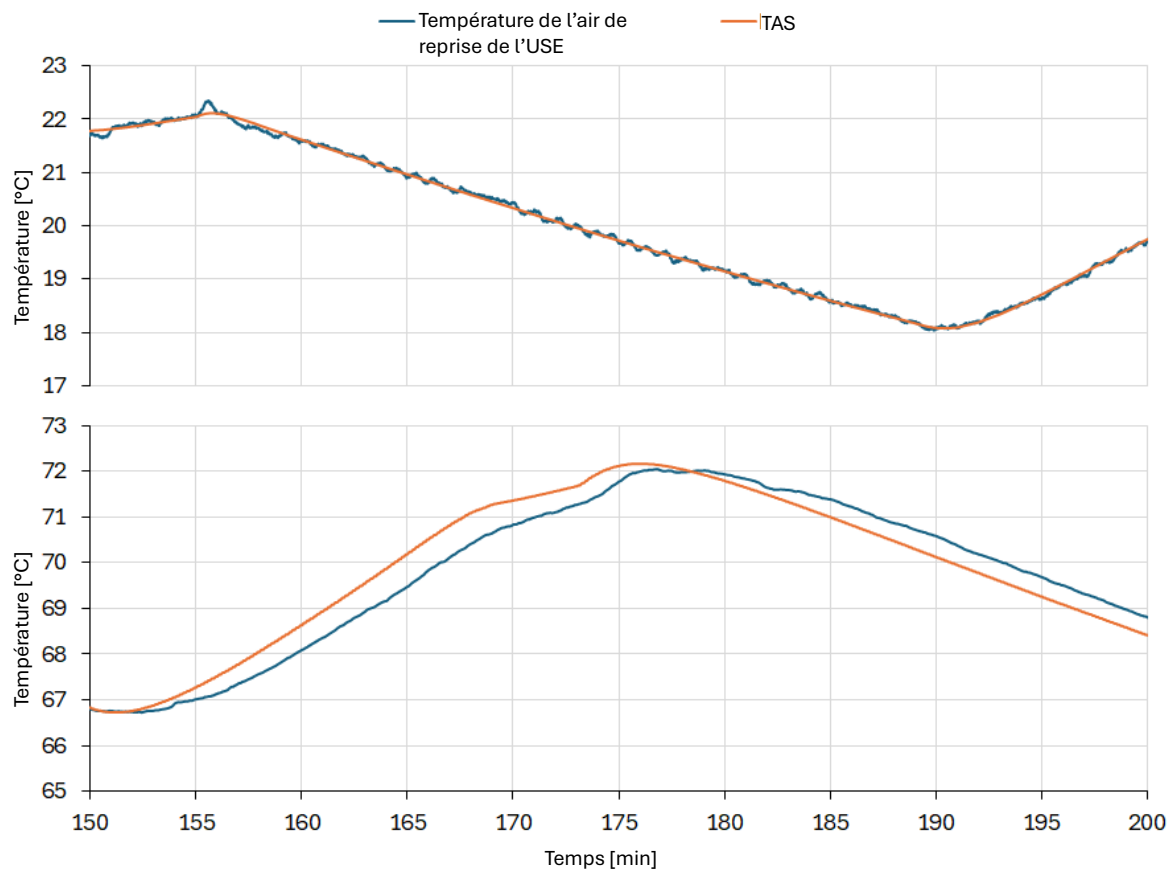


Figure 75. Température de l'air de reprise de l'USE par rapport à la TAS à RNCAN (en haut) et au laboratoire A (en bas)

5.0. Conclusions

Le présent rapport a examiné la reproductibilité de la procédure CSA SPE-07:23 en utilisant deux thermopompes pour climat froid à conduit central, évaluées dans deux installations d'essai indépendantes. Les deux thermopompes étaient des systèmes à vitesse variable de deux tonnes avec des thermostats communicants qui avaient été mises à l'essai sur le terrain et en laboratoire. L'objectif était de produire des CP saisonniers de chauffage et de refroidissement à partir d'une série complète d'essais de classement en utilisant la même ligne de charge du bâtiment et l'installation d'équipement des essais sur le terrain précédemment réalisés.

L'unité A a obtenu une reproductibilité globale « moyenne », avec une différence moyenne de 8,6 % dans le SCOP_C et une différence moyenne de 8,8 % dans le SCOP_H entre les installations. Les facteurs qui ont touché la reproductibilité comprenaient :

- a) Différences de retard de l'instrumentation entre les installations d'essai.
- b) Retard possible de réponse de la chambre intérieure dans le laboratoire A.
- c) Problèmes liés à la mesure adéquate de la capacité de l'USE pendant les opérations de dégivrage dans le laboratoire A.
- d) Différences d'installation entre les installations, telles que l'orientation de l'unité intérieure.
- e) Différences de réponse dynamique de l'équipement et du thermostat.
- f) Configuration de thermostat non vérifiable dans le laboratoire A.

L'unité A a été cohérente dans la reproduction du comportement de suivi de charge et de pleine charge des intervalles d'essai individuels, ce qui entraîne un effet favorable sur la capacité de la procédure à induire une réponse d'équipement cohérente entre les installations d'essai.

Bien que la détermination de la reproductibilité des essais de l'unité C ait été difficile à établir (pour les raisons décrites ci-dessous), l'unité a obtenu une reproductibilité globale « faible » dans les essais de classement de refroidissement et une reproductibilité globale « moyenne » dans les essais de classement de chauffage. Il convient de noter que la différence de moyenne plus importante entre les installations en matière de refroidissement pourrait être exagérée. L'essai de l'unité C a rencontré des problèmes de dérive du capteur de température du thermostat, ce qui a considérablement touché la reproductibilité entre les installations d'essai. D'autres facteurs qui ont touché la reproductibilité comprenaient :

- a) Différences de retard de l'instrumentation entre les installations d'essai.
- b) Retard possible de réponse de la chambre intérieure dans le laboratoire A.
- c) Différences d'installation entre les installations.
- d) Réponse dynamique de l'équipement et du thermostat.

De plus, l'unité C a connu des coupures à la température la plus basse répertoriée de l'intervalle d'essai de chauffage (-25 °C), ce qui a entraîné l'absence de données utilisables pour ce compartiment. Pour les raisons décrites ci-dessus, il était difficile de tirer des conclusions sur la reproductibilité de la procédure SPE-07 à partir des essais de l'unité C.

La reproductibilité entre les laboratoires pour une procédure fondée sur la charge est intrinsèquement plus difficile à atteindre que pour les essais de classification à l'état stable, et un objectif officieux de $\leq \pm 5\%$ est souvent utilisé pour déterminer si une procédure est reproductible. Cependant, les observations faites pendant les essais de l'unité A laissent

entendre que bien que 5 % puisse être réalisable en harmonisant plus étroitement les deux installations d'essai en matière d'installation d'équipement et d'instrumentation utilisée pour la capacité de l'USE et les conditions de la pièce, l'objectif de 5 % pourrait être trop strict, et un pourcentage plus élevé semblerait justifié comme point de référence pour la reproductibilité.

5.1. Modifications proposées à la procédure SPE-07 pour accroître la reproductibilité

Des modifications proposées à la procédure pour une reproductibilité accrue, ainsi que d'autres éléments non liés à la reproductibilité, ont été soumises au comité technique sur la norme CSA C700 en préparation de la publication de la norme accréditée à la suite des observations faites au cours du présent projet. Certaines des modifications proposées ont été abordées dans le présent rapport et sont résumées ici.

a) Instrumentation pour la mesure de la capacité de l'USE

En raison du retard présent dans certains types de capteurs de température, il est recommandé d'utiliser le réseau de thermocouples étalonnés (et de thermopiles dans les cas où il est utilisé pour une mesure de différence de température) dans les flux d'air de reprise et d'alimentation pour calculer la capacité de l'USE. La grille de thermocouples dans le flux d'air de reprise de l'unité intérieure devrait également être utilisée comme la température de la pièce intérieure que l'appareil de reconditionnement de la pièce visera à atteindre pour obtenir la TAS. Cela éliminera le retard présent dans certains capteurs à sonde platine ainsi que le retard inhérent aux mesures aspirées.

b) Peaufiner la chambre pour minimiser le retard relatif à la TAS (premier dispositif régulateur de débit)

Comme il est abordé dans la section 4.3.2, la réponse de l'équipement de conditionnement intérieur peut être en retard par rapport à l'émulateur de charge de bâtiment virtuel, créant ainsi un décalage possible dans la réponse de l'USE entre les installations d'essai avec des quantités de retard différentes. Il est donc recommandé que les méthodes de « peaufinage » des chambres intérieures soient précisées dans la procédure SPE-07 afin de minimiser le retard à un degré jugé acceptable. Cela pourrait inclure des stratégies d'atténuation, telles qu'un mélange accru de l'air dans la pièce, des modifications des commandes proportionnelles, intégrales et dérivées de l'équipement de conditionnement de l'air de la pièce, et des changements dans l'instrumentation précisée et utilisée pour la rétroaction du système de commande. Comme il est indiqué précédemment, l'Université Waseda a effectué des essais approfondis sur cette question et propose une solution fondée sur une méthodologie de « compensation anticipée »[12]. Un tel changement dans la stratégie de contrôle pourrait être précisé dans la procédure SPE-07 comme une exigence pour les essais si cela est jugé approprié.

c) Décalage de température de l'EET pour le thermostat de l'USE

Des problèmes liés au capteur de température intégré dans le thermostat de l'unité C ont entraîné des données inutilisables lors des essais de classification de refroidissement dans des conditions humides à RNCAN. Étant donné que ce thermostat ne disposait pas de décalages de température logiciels, il est recommandé que des décalages de température soient disponibles du côté de l'EET. Concrètement, cela ne devrait pas changer la réponse de l'USE, car l'unité intérieure continuerait à subir la bonne TAS calculée par la charge de bâtiment virtuel, tandis que

le thermostat de l'USE subirait la même tendance de TAS, mais décalée par l'EET pour tenir compte de toute « dérive » du capteur de température intégré.

d) Critère de convergence pour l'essai de chauffage à pleine charge

Les essais de RNCAN ont révélé que certains essais de chauffage à pleine charge ont convergé après deux périodes de fonctionnement à l'état stable de 20 minutes avec une différence de CP de $\leq 1,0$ %. Cependant, en comparant les résultats avec le laboratoire A, il y avait des différences dans les critères de convergence utilisés qui ont entraîné des écarts de performance. Dans certains cas, le laboratoire A a observé que l'USE lançait une opération de dégivrage avant que deux périodes d'état stable de 20 minutes soient atteintes, rendant ainsi la convergence fondée sur trois cycles de dégivrage, ou une période complète de six ou sept heures fondée sur un fonctionnement irrégulier. Pour éviter des situations où l'USE lance un dégivrage à des intervalles différents dans différents laboratoires, et pour harmoniser les critères de convergence entre les essais à charge partielle et à pleine charge, il est recommandé d'augmenter le nombre de périodes à l'état stable requises pour la convergence dans les essais de chauffage à pleine charge à trois périodes de 20 minutes.

e) Suivi de la configuration du thermostat dans le modèle de déclaration de la procédure SPE-07

La configuration du thermostat de l'unité A n'était pas claire lorsque RNCAN l'a reçue après les essais du laboratoire A. Malheureusement, aucune note de terrain ou de laboratoire n'a été prise pour préciser les réglages qui ont été utilisés s'ils n'étaient pas les réglages par défaut. Cela a entraîné de la confusion où RNCAN a observé certaines différences de flux d'air dans certains essais de classement par rapport au laboratoire A. Bien que les deux installations d'essai aient travaillé pour résoudre ce problème, aucune conclusion définitive n'a pu être atteinte concernant la configuration utilisée sur le terrain et au laboratoire A. Il est donc recommandé que le modèle de déclaration de la procédure SPE-07 soit modifié pour inclure une section pour les notes de configuration du thermostat si les paramètres par défaut ne sont pas utilisés pour une raison quelconque.

f) Précision des conditions stabilisées

La sous-partie b) de la clause B.2.2.2.3.3. de la procédure SPE-07 précise que l'exploitant d'essai doit lancer le processus de charge du bâtiment virtuel « [Traduction] *lorsque les conditions de la pièce intérieure et extérieure se sont stabilisées* ». Bien que la période de 15 minutes requise avant le début de l'intégration des mesures, et après que cette condition de « stabilisation » a été remplie, garantisse que les conditions de la pièce sont effectivement stables, un langage plus précis, qui pourrait inclure une période de stabilisation à durée prescrite, pourrait éliminer la variabilité entre les installations d'essai. Dans des équipements dotés d'une variété de types de capteurs intégrés, avec des délais intrinsèques et créés par logiciel pour tenir compte des variabilités environnementales, telles que le gain solaire, cette période de stabilisation pourrait être essentielle pour garantir un comportement reproductible entre les installations d'essai.

g) Orientation de décharge précisée par le fabricant

La procédure SPE-07 exige qu'un « rapport d'attestation de conformité » du fabricant soit utilisé pour déterminer l'orientation de décharge dans les thermopompes centralisées à plusieurs positions, comme il est indiqué dans la clause B.1.2.1.2. Cependant, aucun rapport de ce type n'a été trouvé pour les unités A et C. Pour éviter d'utiliser différentes orientations des unités intérieures et pour normaliser la procédure, il est recommandé de préciser une orientation de décharge dans la procédure SPE-07 pour toutes les unités de traitement d'air à conduit central à plusieurs positions.

6.0. Références

- [1] P. Dhillon, X. Wang, W. T. Horton et J. E. Braun, « Repeatability and Reproducibility Assessment of Residential Heat Pump Performance Evaluation Methodologies based on CSA EXP07 and AHRI 210/240 », 2022, [en ligne]. Disponible : <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/2477/>
- [2] P. Dhillon, D. Welch, B. Butler, W. T. Horton et J. E. Braun, « Validation of a Load-Based Testing Method for Characterizing Residential Air-Conditioner Performance », 2021, [en ligne]. Disponible : <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/2257>
- [3] B. Harley, J. Butler, C. Dymond, G. Hamer et D. P. Yuill, « Field tests of variable speed heat pumps to compare load-based and fixed-speed test and rating methods », 2023, [en ligne]. Disponible : https://www.hpc2023.org/wp-content/uploads/gravity_forms/3-7075ba8a16c5f78b321724d090fb2a34/2023/05/0438_HPC2023_Full_Paper_Yuill_v02.pdf
- [4] Northeast Energy Efficiency Partnerships, « NEEP Residential Heat Pump Efficiency Rating Representativeness Project Phase 1 », Northeast Energy Efficiency Partnerships, Lexington (Massachusetts), octobre 2023, [en ligne]. Disponible : https://neep.org/sites/default/files/media-files/neep_heatpump_rating_representativeness_study_phase1_final_small.pdf
- [5] Northeast Energy Efficiency Partnerships, « NEEP Residential Heat Pump Efficiency Rating Representativeness Project Phase 2 », Northeast Energy Efficiency Partnerships, Lexington (Massachusetts), octobre 2024, [en ligne]. Disponible : https://neep.org/sites/default/files/media-files/neep_heatpump_rating_representativeness_study-phase2_final.pdf
- [6] H. F. Crowther *et coll.*, « ANSI/ASHRAE Standard 37-2009 Methods of Testing for Rating Electrically Driven Unitary Air-Conditioning and Heat Pump Equipment », 2009.
- [7] D. Kim, P. Dhillon, W. T. Horton et J. E. Braun, « An Improved Thermostat Environment Emulator (TEE) for Load-based Testing », 2024, [en ligne]. Disponible : <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/2680/>
- [8] B. Harley, « Heat Pump and Air Conditioner Efficiency Ratings - Why Metrics Matter », Northeast Energy Efficiency Partnerships, avril 2022, [en ligne]. Disponible : <https://neea.org/resources/heat-pump-and-air-conditioner-efficiency-ratings-why-metrics-matter>
- [9] B. Harley, M. Alatorre, C. Dymond et G. Hamer, « CSA EXP07: Ongoing Progress, Lessons Learned, And Future Work in Load-based Testing of Residential Heat Pumps », 2022, [en ligne]. Disponible : <https://neea.org/resources/csa-exp07-ongoing-progress-lessons-learned-and-future-work-in-load-based-essaiing-of-residential-heat-pumps>
- [10] B. Harley, « EXP07:19 Load-based and Climate-Specific Testing and Rating Procedures for Heat Pumps and Air Conditioners - Interim Lab Testing and Rating Results », NEEA, juillet 2020, [en ligne]. Disponible : <https://neea.org/resources/exp0719-load-based-and-climate-specific-essaiing-and-rating-procedures-for-heat-pumps-and-air-conditioners>

- [11] P. Dhillon, D. T. W. Horton et D. J. E. Braun, « AHRI 8026 - Repeatability and Reproducibility Assessment of CSA EXP07:19 and AHRI 210-240:2023 », décembre 2022, [en ligne].
Disponible : <https://www.ahrinet.org/system/files/2023-06/AHRI%208026%20Final%20Report%20with%20CP.pdf>
- [12] N. Giannetti *et coll.*, « Feed-forward compensation for emulator-type testing facilities », *Int. J. Refrig.*, vol. 167, p. 257 à 268, novembre 2024, doi : 10.1016/j.ijrefrig.2024.07.023.

7.0. Annexes

7.1. Annexe A – Résultats détaillés des essais de classement

7.1.1. Unité A

	RNCan – Unité A									
	Q _c	E _c	CP _c	Température du thermomètre sec intérieure	Coefficient de chaleur intérieur	Température du thermomètre sec extérieure	Coefficient de chaleur extérieur	CONV	Contre-pression	TSTAT
CE_D	5 676,2	363,6	4,58	74,5	0,008 3	76,8	S.O.	S.O.	14,63	75
CD_D	9 934,0	762,3	3,82	74,8	0,007 7	86,1	S.O.	S.O.	14,58	75
CC_D	12 604,2	1 161,3	3,18	76,5	0,008 4	95,1	S.O.	S.O.	14,62	75
CB_D	19 275,2	2 058,1	2,74	75,0	0,008 5	104,6	S.O.	OUI	14,80	74
CE_H	8 819,1	583,3	4,43	70,0	0,008 3	76,8	S.O.	S.O.	14,61	70
CD_H	14 181,9	1 082,6	3,84	70,1	0,008 1	86,0	S.O.	S.O.	14,53	70
CC_H	19 572,5	1 790,0	3,20	70,0	0,008 6	95,1	S.O.	OUI	14,69	68
CB_H	19 348,8	2 064,8	2,75	70,0	0,009 2	104,6	S.O.	OUI	14,67	Min. (52)
	Q _H	E _H	CP _H	Température du thermomètre sec intérieure	Coefficient de chaleur intérieur	Température du thermomètre sec extérieure	Coefficient de chaleur extérieur	CONV	Contre-pression	TSTAT
HF_C	2 114,5	312,8	1,98	70,1	0,004 8	53,6	0,004 7	S.O.	14,61	69
HE_C	4 699,0	513,5	2,68	68,6	0,004 7	46,7	0,004 2	S.O.	14,55	68
HD_C	9 442,8	1 096,1	2,52	68,3	0,005 1	34,0	0,003 1	S.O.	14,60	68
HC_C	15 588,0	2 508,5	1,82	69,4	0,004 8	17,1	0,001 3	S.O.	14,65	70
HB_C	13 299,7	3 128,4	1,25	69,0	0,006 2	5,0	0,001 1	OUI	14,48	Max. (88)
HL_C	9 979,2	2 760,8	1,06	69,0	0,004 6	-3,0	0,000 5	OUI	14,41	Max. (88)
HD_M	9 290,1	1 087,2	2,50	68,2	0,004 6	34,0	0,003 5	S.O.	14,44	68

	Laboratoire A – Unité A									
	Q _c	E _c	CP _c	Température du thermomètre sec intérieure	Coefficient de chaleur intérieur	Température du thermomètre sec extérieure	Coefficient de chaleur extérieur	CONV	Contre-pression	TSTAT
CE_D	4 813,2	313,6	4,50	75,1	0,009 9	77,0	S.O.	S.O.	14,36	75
CD_D	9 353,7	660,3	4,15	75,4	0,008 2	86,0	S.O.	S.O.	14,36	75
CC_D	13 768,9	1 137,0	3,55	76,1	0,008 2	95,3	S.O.	S.O.	14,34	75
CB_D	18 557,2	1 852,1	2,94	74,7	0,007 9	104,0	S.O.	OUI	14,38	74
CE_H	8 540,7	496,0	5,05	70,9	0,008 0	77,0	S.O.	S.O.	14,37	70
CD_H	14 146,6	998,3	4,15	69,9	0,007 7	86,0	S.O.	S.O.	14,42	70
CC_H	19 340,7	1 651,3	3,43	70,0	0,008 2	95,0	S.O.	OUI	14,38	69
CB_H	19 741,3	1 977,5	2,93	69,9	0,009 3	104,0	S.O.	OUI	14,38	S.O.
	Q _H	E _H	CP _H	Température du thermomètre sec intérieure	Coefficient de chaleur intérieur	Température du thermomètre sec extérieure	Coefficient de chaleur extérieur	CONV	Contre-pression	TSTAT
HF_C	1 772,0	271,9	1,91	70,8	0,003 0	54,0	0,004 5	S.O.	14,43	69
HE_C	4 186,0	438,7	2,80	69,5	0,002 9	47,0	0,004 2	S.O.	14,38	68
HD_C	9 502,7	939,5	2,96	69,2	0,003 3	34,0	0,003 1	S.O.	14,42	68
HC_C	14 715,0	1 908,7	2,26	67,7	0,003 4	17,0	0,001 3	S.O.	14,40	70
HB_C	14 851,8	2 960,6	1,47	69,0	0,002 7	5,0	0,001 0	S.O.	14,37	S.O.
HL_C	9 726,8	2 511,0	1,14	69,0	0,002 5	-3,0	0,000 5	OUI	14,36	S.O.
HD_M	9 615,3	952,2	2,96	69,2	0,002 9	34,1	0,003 5	S.O.	14,35	68

7.1.2. Unité C

Unité C – RNCAN										
	Q _c	E _c	CP _c	Température du thermomètre sec intérieure	Coefficient de chaleur intérieur	Température du thermomètre sec extérieure	Coefficient de chaleur extérieur	CONV	Contre-pression	TSTAT
CE_D	3 501,4	390,4	2,63	78,6	0,010 0	77,0	S.O.	S.O.	14,68	78
CD_D	9 068,2	561,9	4,73	79,0	0,007 6	86,0	S.O.	OUI	14,76	76
CC_D	15 261,8	1 457,1	3,07	79,0	0,008 6	95,0	S.O.	OUI	14,66	67 (min.)
CB_D	18 318,9	2 321,9	2,31	79,0	0,008 0	104,0	S.O.	OUI	14,63	67 (min.)
CE_H	7 619,5	742,5	3,01	74,3	0,009 2	77,0	S.O.	S.O.	14,62	67 (min.)
CD_H	15 187,6	1 317,8	3,38	73,9	0,008 7	86,0	S.O.	OUI	14,65	67 (min.)
CC_H	14 710,9	1 458,6	2,96	73,9	0,009 1	95,0	S.O.	OUI	14,70	67 (min.)
CB_H	17 042,0	2 290,3	2,18	73,9	0,008 1	104,0	S.O.	OUI	14,70	67 (min.)
	Q _H	E _H	CP _H	Température du thermomètre sec intérieure	Coefficient de chaleur intérieur	Température du thermomètre sec extérieure	Coefficient de chaleur extérieur	CONV	Contre-pression	TSTAT
HF_C	2 517,6	234,1	3,15	74,3	0,007 2	54,0	0,004 5	S.O.	14,68	69
HE_C	4 713,9	497,8	2,78	74,1	0,007 4	47,0	0,004 2	OUI	14,73	69
HD_C	8 337,8	1 016,0	2,41	73,7	0,007 2	34,1	0,003 1	S.O.	14,76	70
HC_C	16 937,2	2 965,3	1,67	73,9	0,006 5	17,1	0,001 3	OUI	14,57	83 (max.)
HB_C	13 268,8	2 518,2	1,54	73,9	0,005 8	5,5	0,000 8	OUI	14,59	83 (max.)
HL_C										
HD_M	8 561,6	1 080,5	2,32	73,1	0,006 4	34,3	0,003 5	S.O.	14,73	70

Unité C – Laboratoire A										
	Q _c	E _c	CP _c	Température du thermomètre sec intérieure	Coefficient de chaleur intérieur	Température du thermomètre sec extérieure	Coefficient de chaleur extérieur	CONV	Contre-pression	TSTAT
CE_D	4 312,2	369,8	3,42	78,5	0,009 5	77,0	S.O.	S.O.	14,55	80
CD_D	8 967,5	486,3	5,40	78,3	0,009 6	86,0	S.O.	OUI	14,56	80
CC_D	13 937,7	1 194,1	3,42	80,0	0,008 3	95,0	S.O.	S.O.	14,60	80
CB_D	22 630,7	3 252,1	2,04	78,9	0,008 9	104,0	S.O.	OUI	14,61	S.O.
CE_H	7 814,1	410,3	5,58	73,9	0,010 0	77,0	S.O.	S.O.	14,58	74
CD_H	14 565,1	1 242,7	3,43	74,8	0,008 4	86,0	S.O.	S.O.	14,58	72
CC_H	20 399,1	2 291,3	2,61	74,8	0,007 4	95,0	S.O.	OUI	14,56	72
CB_H	21 669,3	3 224,4	1,97	73,9	0,008 9	104,1	S.O.	OUI	14,57	S.O.
	Q _H	E _H	CP _H	Température du thermomètre sec intérieure	Coefficient de chaleur intérieur	Température du thermomètre sec extérieure	Coefficient de chaleur extérieur	CONV	Contre-pression	TSTAT
HF_C	2 708,2	224,4	3,54	75,2	0,004 4	54,0	0,004 5	S.O.	14,51	72
HE_C	5 226,8	492,8	3,11	75,3	0,004 4	47,0	0,004 2	S.O.	14,49	72
HD_C	8 342,3	981,0	2,49	73,8	0,004 3	34,1	0,003 1	S.O.	14,41	72
HC_C	11 170,8	1 570,8	2,08	74,1	0,005 7	17,0	0,001 3	OUI	14,26	S.O.
HB_C	10 900,7	1 837,7	1,74	74,0	0,004 0	5,0	0,000 8	S.O.	14,40	S.O.
HL_C	6 995,3	1 715,8	1,19	74,0	0,004 0	-13,0	0,000 2	S.O.	14,52	S.O.
HD_M	8 517,4	1 004,3	2,49	74,2	0,004 4	34,0	0,003 5	S.O.	14,41	72

7.2. Annexe B – Modifications à la ligne de charge du bâtiment de la procédure SPE-07:23

7.2.1. Unité A

Tableau 13. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité A par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de refroidissement dans des conditions humides

	Valeurs de la procédure SPE-07	Valeurs d'essai sur le terrain modifiées
$Q_c(95)$	23 600 BTU/h	21 977 BTU/h
T_{ZL}	67 °F	62 °F
T_{ID}	74 °F	70 °F
$RCS_{\text{bâtiment}}$	0,80	0,83

Tableau 14. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité A par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de refroidissement dans des conditions sèches

	Valeurs de la procédure SPE-07	Valeurs d'essai sur le terrain modifiées
$Q_c(95)$	23 600 BTU/h	21 977 BTU/h
T_{ZL}	72 °F	67 °F
T_{ID}	79 °F	75 °F

Tableau 15. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité A par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de chauffage

	Valeurs de la procédure SPE-07	Valeurs d'essai sur le terrain modifiées
$Q_c(95)$	23 600 BTU/h	17 318 BTU/h
T_{ZL}	60 °F	59 °F
T_{ID}	70 °F	69 °F

7.2.2. Unité C

Tableau 16. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité C par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de refroidissement dans des conditions humides

	Valeurs de la procédure SPE-07	Valeurs d'essai sur le terrain modifiées
$Q_c(95)$	18 000 BTU/h	24 699 BTU/h
T_{ZL}	67 °F	66 °F
$RCS_{\text{bâtiment}}$	0,80	0,86

Tableau 17. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité C par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de refroidissement dans des conditions sèches

	Valeurs de la procédure SPE-07	Valeurs d'essai sur le terrain modifiées
$Q_c(95)$	18 000 BTU/h	24 699 BTU/h
T_{ZL}	71 °F	72 °F

Tableau 18. Modifications des valeurs de ligne de charge normalisées de la procédure SPE-07 pour l'unité C par rapport aux valeurs de ligne de charge mesurées pendant les essais sur le terrain et utilisées pendant les essais de reproductibilité de chauffage

	Valeurs de la procédure SPE-07	Valeurs d'essai sur le terrain modifiées
$Q_c(95)$	18 000 BTU/h	15 222 BTU/h
T_{ZL}	60 °F	62 °F
T_{ID}	70 °F	74 °F

Personne-ressource

Jean-Philippe B. Poirier, ing.
Ingénieur de recherche
Groupe bâtiments et renouvelables
Ressources naturelles Canada, CanmetÉNERGIE-Ottawa
jean-philippe.poirier@nrcan-rncan.gc.ca

À propos de CanmetÉNERGIE

CanmetÉNERGIE de Ressources naturelles Canada est le chef de file canadien en matière de développement technologique et de recherche se rapportant à l'énergie propre. Nos spécialistes œuvrent dans les domaines de l'approvisionnement en énergie propre issue de combustibles fossiles et de sources renouvelables, des systèmes de gestion et de distribution d'énergie, et des technologies et procédés d'utilisation finale perfectionnés. Veillant à ce que le Canada reste à l'avant-garde des technologies d'énergie propre, nous améliorons la qualité de vie des Canadiens en créant un avantage en matière de ressources durables.

Siège social	Devon (Alberta)	Ottawa (Ontario)	Varenes (Québec)
580, rue Booth	1 Oil Patch Drive	1, promenade	1615, boulevard Lionel-Boulet
Ottawa (Ontario)	Devon (Alberta)	Haanel	Varenes (Québec)
Canada	Canada	Ottawa (Ontario)	Canada
K1A 0E4	T9G 1A8	Canada	J3X 1S6
		K1A 1M1	