FICHE D'INFORMATION

TECHNOLOGIES DE **THERMOPOMPES**

Cette fiche d'information donne un aperçu des technologies de thermopompes, y compris les systèmes à air, à eau et à débit de réfrigérant variable, et propose des indicateurs clés de performance à prendre en compte lors de l'utilisation de ces technologies. Elle présente également les défis à relever lors de l'utilisation de ces technologies, ainsi que les possibilités de réduction de la consommation d'énergie.

Qu'est-ce qu'une thermopompe[1]?

Une thermopompe est une technologie qui utilise la compression d'un gaz pour transférer (pomper) la chaleur d'un côté du système à l'autre. Une thermopompe est composée d'un compresseur, d'un serpentin d'évaporation, d'un serpentin de condensation et d'une soupape de détente. Grâce à ces composants, elle utilise un cycle de compression de vapeur pour extraire la chaleur d'une source et la transférer à un puits en faisant circuler un réfrigérant à travers un évaporateur à basse pression et un condenseur à haute pression, comme l'illustre la figure 1. Les thermopompes sont utilisées dans les bâtiments pour assurer le chauffage des locaux, le refroidissement et la production d'eau chaude sanitaire de façon efficace.

Dans un cycle de chauffage, le serpentin d'évaporation de la thermopompe extrait la chaleur de la source (généralement l'air extérieur ou une boucle d'eau) et la transfère au réfrigérant, qui passe ainsi de l'état liquide à l'état gazeux (c'est-à-dire qu'il s'évapore). Le compresseur comprime alors le réfrigérant, augmentant sa pression et sa température. La chaleur du réfrigérant à plus haute température est alors transférée par le serpentin du condenseur vers le puits de chaleur (généralement l'air intérieur ou une boucle d'eau) lorsque le réfrigérant redevient liquide (c'est-à-dire qu'il se condense). La soupape de détente abaisse alors la pression et la température du réfrigérant, ce qui lui permet de répéter le cycle.

Dans un cycle de refroidissement, une vanne d'inversion est utilisée pour inverser le sens du cycle de compression, ce qui permet à l'évaporation et à la condensation de se produire dans le serpentin opposé et faire ainsi passer la thermopompe d'un mode de chauffage à un mode de refroidissement.

1 Cette fiche traite uniquement des thermopompes à compression mécanique fonctionnant à l'électricité, soit la technologie la plus commune. Elle ne traite pas des autres technologies, par exemple, les thermopompes fonctionnant au gaz naturel.

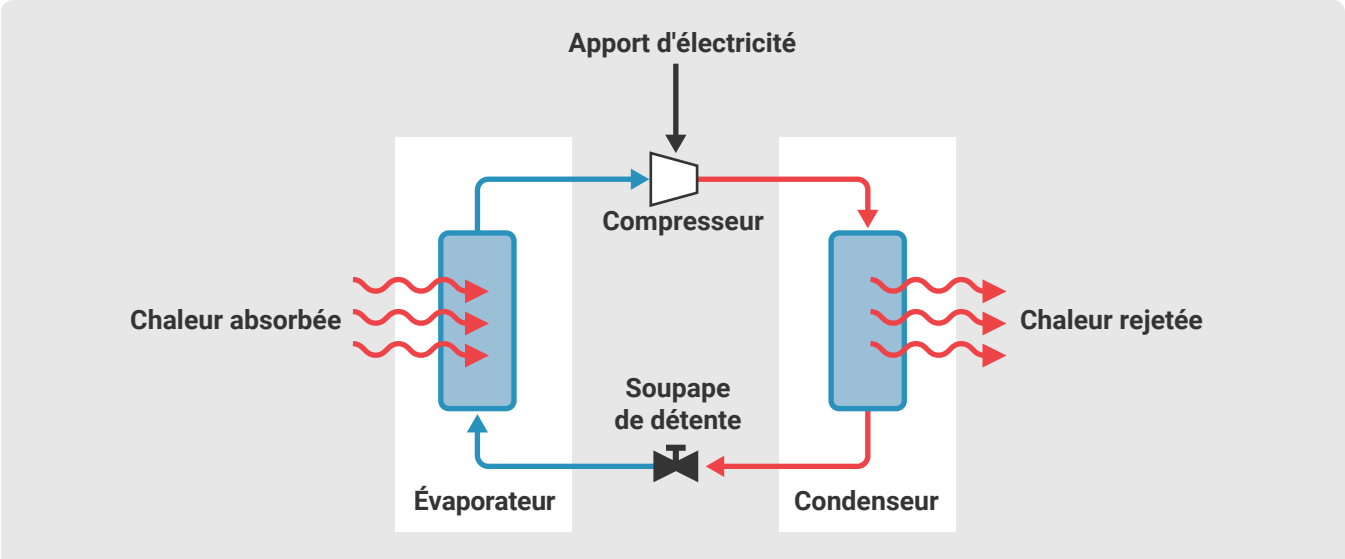

Figure 1 : Cycle de la thermopompe

Classification des thermopompes

Les thermopompes sont classées en fonction de la source et du puits de chaleur utilisés. Les types de thermopompes les plus courants dans les bâtiments commerciaux sont les suivants :

1. Thermopompes **air-air** – elles extraient la chaleur de l'air extérieur ambiant et la transfèrent à l'air intérieur pour le chauffage.
2. Thermopompes **air-eau** – elles extraient la chaleur de l'air extérieur ambiant et la transfèrent à une boucle hydronique.
3. Thermopompes **eau-eau** – elles extraient la chaleur d'une source d'eau (p. ex., géothermie, récupérateur de chaleur) et la transfèrent à une boucle hydronique.
4. Thermopompes **eau-air** (ou thermopompes distribuées à source d'eau) – elles extraient la chaleur de la boucle hydronique principale et utilisent l'air pour le chauffage des locaux.
5. Thermopompes à **débit variable de réfrigérant (DVR)** – elles font varier le débit du réfrigérant vers de multiples unités intérieures en fonction de la demande de chauffage/refroidissement. Ces thermopompes peuvent être de différents types quant à leur source et leur puits.

Indicateurs de performance[2]

Plusieurs indicateurs de performance sont utilisés pour exprimer la quantité de chauffage ou de refroidissement qu'une thermopompe peut fournir par rapport à l'énergie électrique qu'elle consomme. Il est important de comprendre comment ces indicateurs sont utilisés pour comparer différents systèmes ou pour suivre le rendement d'un système au fil du temps.

Coefficient de performance (CP)

Le coefficient de performance (CP) est le rapport entre l'énergie thermique produite et l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner le compresseur à des températures de source et de puits spécifiques. Plus le CP est élevé, plus la thermopompe est efficace. Pour les thermopompes à air, lorsque la température de l'air extérieur baisse, la valeur du CP diminue en raison de l'augmentation du travail nécessaire au compresseur pour soutirer l'énergie de l'air extérieur et faire évaporer le réfrigérant.

Rendement énergétique saisonnier (RES)

Le rendement énergétique saisonnier (RES, ou SEER en anglais) mesure l'efficacité du refroidissement tout au long d'une saison de refroidissement typique. Il est déterminé en divisant le refroidissement total fourni au cours de la saison de refroidissement, exprimé en Btu (British thermal unit), par l'énergie électrique totale consommée pendant cette période, exprimée en watts-heures (Wh). Comme pour le CP, plus le RES est élevé, plus la thermopompe est efficace.

2 Le lien suivant définit différents termes liés au rendement des thermopompes : **Le chauffage et le refroidissement à l'aide d'une thermopompe (canada.ca)**

Rendement énergétique (RE)

Le rendement énergétique (RE, ou EER en anglais) mesure l'efficacité de refroidissement en régime permanent d'une thermopompe et est déterminé en divisant la capacité de refroidissement, exprimée en Btu/h, par la puissance électrique consommée, exprimée en watts, à une température donnée. Là encore, plus le RE est élevé, plus la thermopompe est efficace.

Kilowatt par tonne (kW/tonne)

Le kilowatt par tonne (kW/tonne) est le rapport entre l'énergie électrique consommée en kilowatts (kW) et le refroidissement fourni en tonnes. Dans ce cas, plus le rapport est faible, plus l'efficacité est grande.

Comparaison de l'efficacité et des émissions de la source de chauffage

Les thermopompes consomment moins d'énergie que les sources de chauffage à gaz et par résistance électrique, pour la même production de chaleur. L'efficacité des thermopompes varie en fonction de la température de la source et des conditions de charge. Le tableau 1 présente une comparaison du rendement des équipements. Bien que les thermopompes puissent réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), les émissions associées à l'électricité utilisée dépendent de l'intensité en GES du réseau électrique de la région ou de la compagnie d'électricité. Par exemple, les thermopompes installées dans les provinces de la Colombie-Britannique, du Manitoba et du Québec, où la majeure partie de l'électricité provient de l'énergie hydroélectrique, auront un impact plus important sur la réduction des émissions de GES que les thermopompes installées en Alberta et en Saskatchewan.

Tableau 1 : Comparaison de l'efficacité de la source de chauffage

Source	CP	Efficacité saisonnière
À combustion (huile ou gaz)	<1	50-95 %
Résistance électrique	1	100 %
Thermopompe à source d'air	1,5-3,5	150-350 %
Thermopompe à source d'eau	2,5-4,5	250-450 %

Il est également important de prendre en compte l'impact du cycle de dégivrage sur le rendement de la thermopompe. Les serpentins d'évaporation extérieurs se couvrent de glace dans certaines conditions, et un cycle de dégivrage est nécessaire pour faire fondre la glace afin que la thermopompe puisse continuer à fonctionner. Cette opération est effectuée automatiquement par de nombreux appareils, mais elle entraîne une pénalité énergétique pendant le cycle de dégivrage lui-même. Lorsque l'on compare les performances de différents systèmes, il est important de savoir si le CP ou un autre indicateur tient compte de l'impact du cycle de dégivrage.

Thermopompes à source d'air

Une thermopompe à source d'air extrait la chaleur de l'air extérieur pendant la saison de chauffage et rejette la chaleur à l'extérieur pendant la saison de climatisation. Les thermopompes à source d'air peuvent être classées comme air-air ou air-eau en fonction du puits de chaleur (air ou eau).

Thermopompes air-air

En mode chauffage, une thermopompe air-air extrait la chaleur de l'air extérieur grâce au serpentin de l'évaporateur et la transfère au serpentin intérieur (c'est-à-dire le serpentin du condenseur) situé dans les unités de CVC telles que les unités de traitement de l'air et les ventilo-convecteurs. L'air soufflé est réchauffé en passant par le serpentin avant d'être distribué par des gaines dans les différents espaces. En mode refroidissement, le processus est inversé et la chaleur est extraite des espaces desservis et rejetée à l'extérieur.

Thermopompes air-eau

Le même concept d'extraction de la chaleur de l'air extérieur est utilisé pour les thermopompes air-eau. Cependant, les thermopompes air-eau fournissent la chaleur utile à une boucle d'eau plutôt qu'à un courant d'air.

Les thermopompes air-eau commerciales sont généralement offertes sous forme de systèmes à deux ou à quatre tuyaux. Les thermopompes air-eau à deux tuyaux sont conçues pour assurer uniquement le chauffage ou le refroi-dissement, tandis que les thermopompes à quatre tuyaux sont capables d'assurer simultanément le chauffage et le refroidissement. Ces dernières sont destinées aux bâtiments où les besoins de chauffage et de refroidissement coexistent tout au long de l'année.

Thermopompes à source d'eau

Une thermopompe à source d'eau extrait la chaleur d'une source d'eau (p. ex., géothermie, boucle d'eau principale, boucle de récupération de chaleur) et peut être classée comme thermopompe eau-eau ou eau-air.

Thermopompes eau-eau

Les thermopompes eau-eau extraient la chaleur d'une source d'eau et la transfèrent à un système de chauffage hydronique central. Ces thermopompes peuvent extraire la chaleur, par exemple, d'une source souterraine ou de l'air vicié.

Dans les systèmes géothermiques, un fluide caloporteur circule dans une boucle fermée ou ouverte qui est enfouie dans le sol ou dans une étendue d'eau pour extraire et rejeter la chaleur. Un échangeur de chaleur transfère la chaleur entre la boucle souterraine et la thermopompe.

La chaleur peut également être récupérée à partir de l'air vicié à l'aide de serpentins de récupération de chaleur et transférée du côté de la source des thermopompes. Ces systèmes peuvent être couplés à une ou plusieurs chaudières pour fournir du chauffage d'appoint permettant de maintenir la température des boucles de chauffage.

Thermopompes eau-air (ou thermopompes distribuées à source d'eau)

Les thermopompes eau-air (ou thermopompes distribuées à source d'eau) sont généralement des systèmes indépendants et monoblocs répartis dans un bâtiment, chacun étant équipé d'une vanne d'inversion, ce qui lui permet de fonctionner en mode chauffage ou en mode refroidissement. Les thermopompes eau-air sont généralement associées à une chaudière et à une tour de refoidissement (ou à un champ de puits géothermiques) pour le chauffage et le rejet de chaleur d'appoint. Les thermopompes distribuées à source d'eau sont raccordées à une boucle d'eau commune.

Les bâtiments dont les charges de chauffage et de refroidissement sont simultanées sont aussi bien adaptés à un système de thermopompe eau-air. Les thermopompes en mode chauffage extraient la chaleur de la boucle d'eau, tandis que les thermopompes en mode climatisation rejettent la chaleur dans cette même boucle. De cette manière, une thermopompe eau-air fournit une forme de récupération de chaleur et réduit la nécessité de faire fonctionner les systèmes d'appoint.

Système à débit variable de réfrigérant (DVR)

Les systèmes à débit variable de réfrigérant (DVR) sont des thermopompes à source d'air ou d'eau qui distribuent la chaleur directement au moyen de la boucle de réfrigérant. De plus, contrairement aux thermopompes traditionnelles, les systèmes DVR font varier le débit du réfrigérant vers les unités intérieures en fonction de la demande de chauffage/refroidissement.

Dans un système DVR, plusieurs ventilo-convecteurs intérieurs sont reliés à une unité extérieure. L'unité extérieure est équipée d'un ou de plusieurs compresseurs dont la vitesse varie pour faire varier le débit de réfrigérant. Cela permet à l'unité d'ajuster la consommation d'énergie en fonction des besoins de chauffage et de refroidissement, ce qui en fait un système plus efficace par rapport aux thermopompes à air classiques.

Les systèmes DVR sont offerts sous forme de thermopompes (deux tuyaux) ou de systèmes de récupération de chaleur (trois tuyaux). Un système de thermopompe DVR assure le chauffage ou la climatisation selon les besoins. Cependant, un système de récupération de chaleur DVR est utilisé pour les applications où le chauffage et le refroidissement simultanés sont nécessaires, comme illustré dans la figure 2. Cela permet de transférer la chaleur rejetée en mode refroidissement vers des zones en mode chauffage par l'intermédiaire de la boucle de réfrigération en limitant la consommation d'énergie du compresseur.

Considérations relatives à l'optimisation des systèmes de thermopompes existants

Cette section présente un résumé des différentes possibilités d'optimisation des systèmes de thermopompes existants, ainsi qu'un aperçu de certains des défis rencontrés lors de la mise en service des installations de thermopompes.

Thermopompes air-eau et eau-eau

Rendement du système en fonction de la température de l'air extérieur

Lorsque les températures de l'air extérieur diminuent, la capacité de chauffage d'une thermopompe à source d'air diminue également. À mesure que les capacités des thermopompes chutent, une source de chauffage d'appoint (p. ex., au gaz ou par résistance électrique) peut être nécessaire. Les thermopompes offertes sur le marché ne peuvent souvent pas maintenir une température d'eau

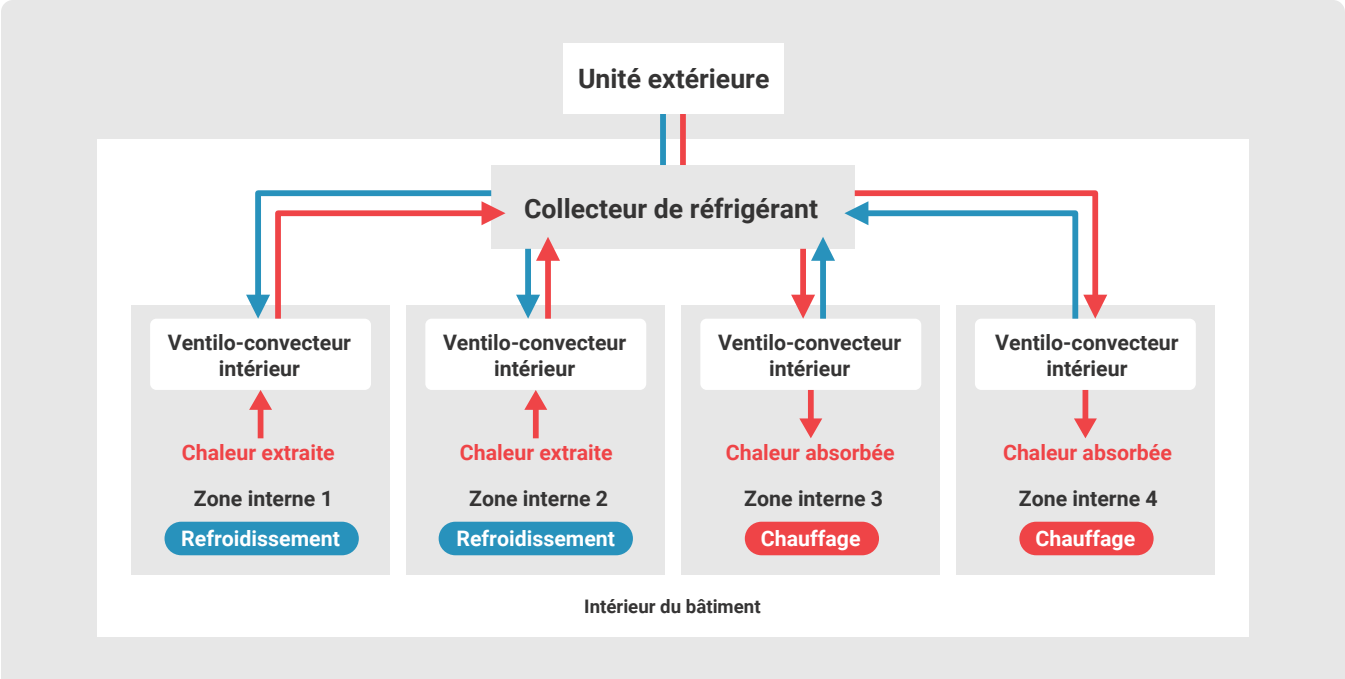

Figure 2 : Schéma du système de récupération de chaleur DVR

d'alimentation constante. Ainsi, pour maximiser le chauffage par la thermopompe, le chauffage d'appoint doit être contrôlé afin de maintenir des températures d'eau inférieures à la température d'alimentation de la thermopompe.

Grâce à des essais fonctionnels et à la documentation du fabricant, il est possible de déterminer la température la plus basse à laquelle la thermopompe peut fournir de l'eau de manière fiable. La source de chauffage d'appoint peut ensuite être configurée pour chauffer l'eau à cette température de sortie la plus basse, garantissant ainsi que la thermopompe contribue autant que possible au chauffage global. Autrement, selon la fluctuation de la température fournie par la thermopompe, le système d'appoint peut parfois prendre le relais et limiter la possibilité pour les thermopompes de fournir du chauffage. Il est important de comprendre que les thermopompes ne peuvent généralement pas maintenir une température d'alimentation constante et que si les chaudières sont réglées sur le même point de consigne, la thermopompe ne parviendra probablement pas à fonctionner en priorité.

Un essai fonctionnel permet de déterminer la température de fonctionnement limite de la thermopompe (c'est-à-dire la limite de température de l'air extérieur qui empêche le fonctionnement de la thermopompe en dessous de cette température) lorsque le chauffage d'appoint est désactivé, et que la température d'alimentation peut être maintenue. La température de consigne de la chaudière doit alors être fixée de sorte à prendre le relais seulement lorsque cette limite est atteinte par la thermopompe.

Températures de fonctionnement

Les thermopompes fonctionnent plus efficacement lorsque la température de l'eau de chauffage du bâtiment est aussi basse que possible (c'est-à-dire inférieure à 50 °C), et sont donc plus efficaces lorsqu'elles sont associées à une boucle d'eau à basse température. Par conséquent, les exigences en matière de température de fonctionnement d'un système de chauffage à eau sont cruciales lors de l'évaluation du potentiel des thermopompes. Les thermopompes ne peuvent pas fonctionner de manière constante et efficace si le système de chauffage exige qu'elles fonctionnent à leur limite. Par exemple, si la température maximale d'alimentation de la thermopompe est de 50 °C, l'écart de température acceptable doit être d'au moins 5 °C, et le système de chauffage doit pouvoir être satisfait à 45 °C.

Si une thermopompe est utilisée dans un système à eau chaude conventionnel dont la température est supérieure à 50 °C, elle ne fonctionnera probablement pas dans sa plage de température sécuritaire, ce qui entraînera une défaillance prématurée. En outre, la plupart des thermopompes offertes dans le commerce spécifient des températures d'eau de retour inférieures à 45 °C. Les thermopompes risquent donc de ne pas fonctionner efficacement si la température de l'eau de retour est plus élevée.

Il est toujours recommandé d'effectuer un essai pour observer le fonctionnement du bâtiment avec des températures d'eau d'alimentation plus basses avant d'installer un système de thermopompe.

Une autre solution possible consiste à découpler les charges à haute température des charges à basse température ou des principales charges qui peuvent être converties à basse température. Dans ce cas, les charges à haute température peuvent être alimentées par une chaudière dédiée ou une thermopompe à haute température. Cela permettra à la température de la boucle principale de rester plus basse, dans les conditions de fonctionnement de la thermopompe principale.

Thermopompes air-eau

Température limite de l'air extérieur

Dans un système de chauffage hybride utilisant du gaz naturel ou de l'électricité comme source de chauffage d'appoint à la thermopompe, les thermopompes à air sont généralement réglées pour se verrouiller bien au-delà de leur température de conception. Cette méthode de contrôle ne permet pas d'exploiter pleinement le potentiel de la thermopompe. Dans ce cas, il est recommandé de réviser la stratégie de contrôle pour supprimer le verrouillage des thermopompes à air, car il limite la capacité des thermopompes à fournir du chauffage, tout en donnant la priorité à la source de chauffage d'appoint. Les thermopompes à air peuvent fonctionner bien en dessous des températures de verrouillage typiques si les températures de chauffage de la boucle principale se situent à l'intérieur de leur plage de fonctionnement. Ceci peut être confirmé par un essai fonctionnel.

Thermopompes distribuées à source d'eau

Limitation de la demande

Pour minimiser la demande électrique pendant le réchauffement matinal, les thermopompes distribuées peuvent être mises en marche de manière décalée plutôt que toutes en même temps. Une stratégie de contrôle pour y parvenir consiste à activer les thermopompes le matin en fonction de l'écart par rapport au point de consigne de la zone respective. Les zones qui sont plus éloignées du point de consigne (c'est-à-dire plus froides) verront leurs thermopompes se mettre en marche plus tôt, et les zones qui sont proches du point de consigne (c'est-à-dire plus chaudes) se mettront en marche plus tard

Contrôle de la température de la boucle

Il est possible d'économiser de l'énergie en réduisant la nécessité de faire fonctionner les chaudières et les tours de refroidissement. Une stratégie de contrôle de la température de la boucle réinitialise le point de consigne de la température de la boucle afin de minimiser l'énergie combinée consommée par les thermopompes, les chaudières et les tours de refroidissement en fonction des conditions de fonctionnement.

Thermopompes à débit variable de réfrigérant

Intégration aux commandes numériques directes

Les systèmes de thermopompes à débit variable de réfrigérant (DVR) sont généralement équipés de leurs propres contrôleurs et ne sont pas contrôlés par un système d'intégration aux commandes numériques directes (CND) centralisé. Cependant, il est recommandé d'intégrer le contrôleur du système DVR au moyen d'un protocole commun (p. ex., BACnet) afin de fournir un retour d'information tel que l'état et les alarmes au système CND, ce qui permet de mieux connaître le rendement et le fonctionnement du système. En outre, l'intégration permet de s'assurer que les points de consigne et les horaires demeurent appropriés.

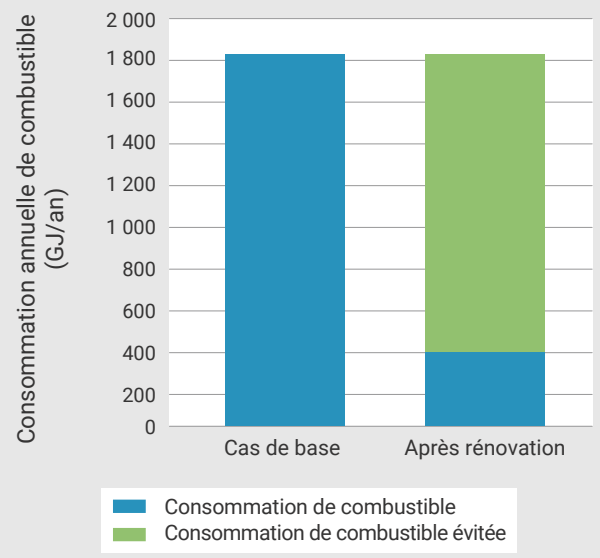

Figure 3 : Potentiel d'économies d'énergie lié à la réduction de la température de l'eau d'alimentation

ÉTUDE DE CAS : Système de thermopompe hybride

Le chauffage d'un bâtiment commercial situé dans le Lower Mainland en Colombie-Britannique est assuré par un réseau de chauffage urbain (RCU) et une thermopompe air-eau à quatre tuyaux.

La thermopompe à air est conçue pour assurer le chauffage et le refroidissement primaires, complétés par le RCU. La thermopompe peut également fonctionner en mode récupération de chaleur, en récupérant la chaleur de l'eau refroidie pour la transférer à l'eau de chauffage. Cependant, après une analyse des tendances, il a été observé que la thermopompe air-eau à quatre tuyaux n'avait jamais fonctionné en mode chauffage.

Les observations suivantes ont été faites pour expliquer le fonctionnement limité de la thermopompe :

- La température de l'eau d'alimentation des boucles principales a dépassé la plage de fonctionnement de la thermopompe.
- La stratégie de contrôle du mode de fonctionnement de la thermopompe ne tenait pas compte du potentiel de cyclage et de son impact sur la limitation de la capacité de la thermopompe.

Les serpentins de chauffage terminaux du bâtiment ont été conçus pour des températures d'entrée d'eau élevées de 60 °C. Cependant, les tendances ont montré un faible différentiel de température dans les serpentins, même pendant la saison de chauffage de pointe. Celui-ci est inférieur au différentiel de température prévu à la conception, ce qui suggère que le bâtiment peut fonctionner avec des températures d'eau de chauffage plus basses tout au long de l'année.

Par conséquent, en fonction des caractéristiques de conception, la thermopompe existante pouvait en fait assurer les charges de chauffage du bâtiment sans le chauffage supplémentaire du RCU. Cependant, la température élevée de l'eau d'alimentation avait empêché la thermopompe de fonctionner correctement. En réduisant la température de l'eau d'alimentation, la thermopompe peut maintenant fournir le chauffage de premier niveau comme prévu et éliminer le chauffage inutile du RCU. Les calculs d'économies d'énergie montrent une réduction de 79 % de la consommation annuelle de gaz naturel.

Points à retenir

- Faire fonctionner les thermopompes à source d'air sur toute leur plage de température extérieure de fonctionnement afin de maximiser l'utilisation et de réduire la chaleur fournie par les sources de chauffage d'appoint;
- Réduire les températures de l'eau de la boucle principale pour que les thermopompes fonctionnent dans leur plage de fonctionnement optimal;
- Réviser les stratégies de contrôle pour établir une séquence appropriée pour la source de chauffage d'appoint afin de maximiser l'utilisation de la thermopompe pour assurer le besoin de chauffage primaire.

No. cat. : M154-173/2024F-PDF | ISBN : 978-0-660-71077-8
© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2024.