FICHE D'INFORMATION

OPTIMISATION **DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT**

Cette fiche d'information présente différentes stratégies d'optimisation des systèmes de refroidissement qui peuvent aider les propriétaires et les opérateurs de bâtiments à obtenir des gains d'efficacité opérationnelle et énergétique. L'objectif est de mieux comprendre les systèmes de refroidissement et d'aider à déterminer les possibilités de recommissioning et d'amélioration de la conception des bâtiments existants qui permettent une mise en oeuvre rapide et peu coûteuse.

Qu'est-ce qu'un système de refroidissement?

Les systèmes de refroidissement des grands bâtiments sont généralement constitués de refroidisseurs et de tours de refroidissement[1]. L'eau qui circule dans le bâtiment est appelée boucle d'eau refroidie, et l'eau qui transporte la chaleur vers l'extérieur est appelée boucle d'eau du condenseur.

Les refroidisseurs ont quatre composantes principales : un évaporateur, un compresseur, un condenseur et une soupape de détente. L'évaporateur transfère la chaleur contenue dans l'eau refroidie au retour de la boucle vers le réfrigérant. Le réfrigérant recueille l'énergie thermique dans l'évaporateur et est envoyé au condenseur par l'intermédiaire du compresseur. Le compresseur augmente alors la pression du réfrigérant pour permettre l'étape suivante du transfert de chaleur. Le condenseur récupère la chaleur du réfrigérant et l'envoie dans les tours de refroidissement par l'intermédiaire de la boucle d'eau du condenseur. Le réfrigérant refroidi passe par une soupape de détente et est ensuite retransféré à l'évaporateur pour achever le cycle du réfrigérant.

Les tours de refroidissement sont des échangeurs de chaleur qui transfèrent la chaleur de l'eau de la boucle du condenseur à l'air extérieur. Pour ce faire, les tours de refroidissement utilisent le principe du refroidissement par évaporation, obtenu au moyen de ventilateurs qui poussent de l'air extérieur directement à travers un courant d'eau ou sur une paroi d'échangeur mouillée, évaporant une partie de l'eau et créant un effet de refroidissement. Les deux types de tours de refroidissement les plus courants sont les

1 Parmi les autres systèmes de refroidissement, on peut citer les thermopompes, les unités de toit et les unités monoblocs refroidies à l'air avec des serpentins à expansion directe. Cette fiche se concentre sur les centrales de refroidissement.

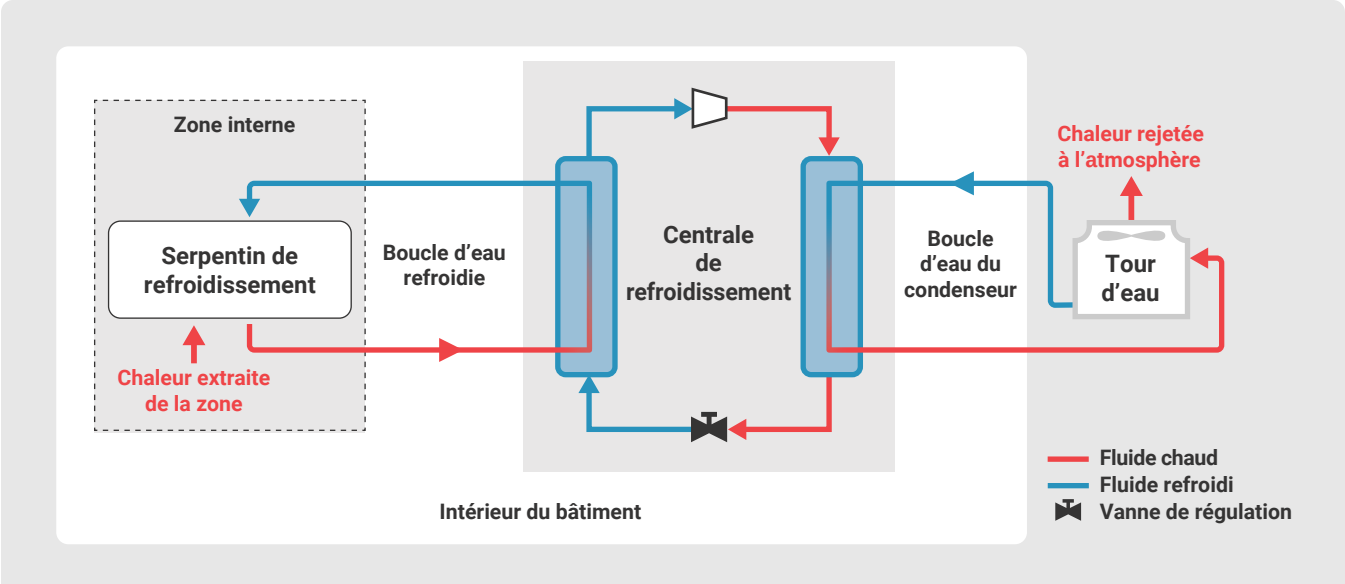

Figure 1 : Système de refroidissement typique

tours à circuit ouvert et les tours à circuit fermé. Les tours de refroidissement à circuit ouvert pulvérisent l'eau de la boucle du condenseur directement dans l'air, tandis que les tours de refroidissement à circuit fermé font circuler l'eau du condenseur dans un échangeur de chaleur. Le principe d'évaporation est alors obtenu en pulvérisant de l'eau sur la paroi extérieure de l'échangeur; il s'agit ainsi d'une tour de refroidissement à circuit fermé opérant en mode humide. Durant la saison froide, l'effet de refroidissement peut être obtenu grâce à la température de l'air seulement, sans le besoin de l'effet d'évaporation, et il s'agit dans ce cas d'un fonctionnement à sec.

L'efficacité des systèmes de refroidissement peut être améliorée en minimisant la différence entre la température plus « chaude » de la boucle d'eau du condenseur et celle de la boucle d'eau refroidie. Cette différence de température est connue sous le nom d'« élévation » de température. Cette fiche d'information comprend des exemples d 'approche permettant de minimiser l'élévation de température.

Réinitialisation de la température de l'eau refroidie

Généralement, le point de consigne de la température d'alimentation en eau refroidie est fixe plutôt que d'être ajusté en fonction de la demande réelle de refroidissement du bâtiment. Plus la température d'alimentation en eau refroidie est basse, plus l'élévation est importante et, par conséquent, plus l'énergie utilisée par le compresseur est élevée. Augmenter la température de l'eau refroidie autant que possible tout en maintenant les conditions de température intérieure réduira l'élévation et, par conséquent, la consommation d'électricité du refroidisseur.

Des séquences de contrôle peuvent être mises en œuvre pour fournir automatiquement l'eau refroidie la plus « chaude » possible tout en répondant aux besoins de refroidissement du bâtiment. L'application d'un programme de réinitialisation du point de consigne de la température de l'eau refroidie en fonction de la température de l'air extérieur est une solution simple. Une façon plus avancée d'optimiser la réinitialisation est d'utiliser une routine de type « réglage et réponse » (trim and respond) qui examine les variations de température de l'espace dans toutes les zones et ajuste continuellement la température de l'eau refroidie pour s'assurer que toutes les zones sont satisfaites. Il faut veiller à ce que les exigences en termes de températures limites et d'élévation minimale fixées par le fabricant soient respectées dans le cadre de l'optimisation de la réinitialisation.

Réinitialisation de la température de l'eau du condenseur

Pour les refroidisseurs à eau (c'est-à-dire ceux qui sont équipés de tours de refroidissement), l'abaissement de la température de l'eau dans la boucle du condenseur réduit l'élévation, ce qui diminue la consommation d'électricité du compresseur. En contrepartie, les ventilateurs à l'intérieur des tours de refroidissement doivent travailler davantage pour refroidir l'eau du condenseur. Généralement, l'énergie économisée grâce à la réduction de l'utilisation du compresseur est supérieure à l'énergie utilisée pour faire fonctionner les ventilateurs, ce qui se traduit par des économies d'énergie nettes. Pour les tours de refroidissement à circuit ouvert, où l'air extérieur est en contact direct avec l'eau du condenseur, le réglage de la température doit être basé sur la température du bulbe humide.

Il convient de veiller à ce que les exigences minimales et maximales de température de l'eau d'entrée et de sortie fixées par le fabricant soient respectées dans le cadre de l'optimisation de la réinitialisation de la température de consigne de l'eau du condenseur.

Isolation de l'évaporateur du refroidisseur

Dans certains cas, une installation de refroidissement peut comprendre plusieurs refroidisseurs. Lorsque deux refroidisseurs ou plus font partie d'un système de refroidissement, le pompage de l'eau refroidie à travers un ou plusieurs refroidisseurs hors service ou en attente constitue un gaspillage d'énergie.

Si chaque refroidisseur dispose d'une pompe de circulation dédiée, les pompes des refroidisseurs désactivés/en attente peuvent souvent être arrêtées. Sinon, des vannes d'isolement peuvent être installées sur chaque refroidisseur pour isoler le refroidisseur inactif. Si les pompes de circulation sont équipées de variateurs de vitesse, elles peuvent moduler leur vitesse pour atteindre les conditions de débit et de température requises par le(s) refroidisseur(s) en mode opérationnel uniquement.

Économiseur à l'eau

Dans la plupart des climats canadiens, les températures extérieures basses sont courantes pendant une bonne partie de l'année. Le refroidissement mécanique effectué par le refroidisseur peut être réduit ou entièrement supprimé dans certaines situations lorsque la température extérieure est suffisamment froide. Les systèmes de refroidissement peuvent utiliser un échangeur de chaleur à plaques pour transférer la chaleur directement de la boucle d'eau refroidie aux tours de refroidissement, en contournant le refroidisseur. C'est ce que l'on appelle un économiseur à l'eau, dont le principe de fonctionnement est illustré à la figure 2 ci-dessous.

L'économiseur à l'eau ne peut généralement pas fournir de l'eau aussi froide que celle provenant du refroidisseur. Cependant, pendant les saisons intermédiaires et l'hiver, lorsque le refroidissement « gratuit » est disponible grâce à un économiseur à l'eau, des températures d'eau refroidie aussi froides ne sont généralement pas nécessaires. Idéalement, cette mesure est mise en œuvre de concert avec l'isolation de l'évaporateur du refroidisseur (pour éviter de faire circuler de l'eau dans des refroidisseurs hors service) et la réinitialisation de la température de consigne de l'eau refroidie et de l'eau du condenseur (pour déterminer quand il est possible de refroidir avec l'économiseur à l'eau).

Débit d'eau refroidie variable

Les pompes situées sur la boucle d'eau refroidie fonctionnent souvent à débit constant, soit en mode opérationnel ou en mode veille, en alternant laquelle des pompes est en marche. Cependant, par temps doux, les serpentins de refroidissement n'ont pas besoin du débit d'eau maximal prévu. Le fait de faire varier le débit d'eau refroidie en fonction de la demande de refroidissement permet de réduire la consommation d'électricité des pompes. Des entraînements à vitesse variable (EVV) peuvent être installés sur les pompes de l'eau refroidie afin de minimiser leur vitesse tout en s'assurant que toutes les charges de refroidissement sont satisfaites.

Avant de mettre en œuvre cette mesure, il est nécessaire de déterminer si les pompes sont adaptées au débit variable et si les moteurs de pompe sont adaptés aux EVV. Pour les pompes de l'eau refroidie primaires (celles qui font circuler l'eau dans les refroidisseurs), le débit minimum d'eau refroidie doit être déterminé par le fabricant et maintenu lorsque le refroidisseur fonctionne. Les débits minimaux ne s'appliquent pas lorsque le refroidisseur est désactivé (p. ex., lorsque le refroidissement est assuré par un économiseur d'eau).

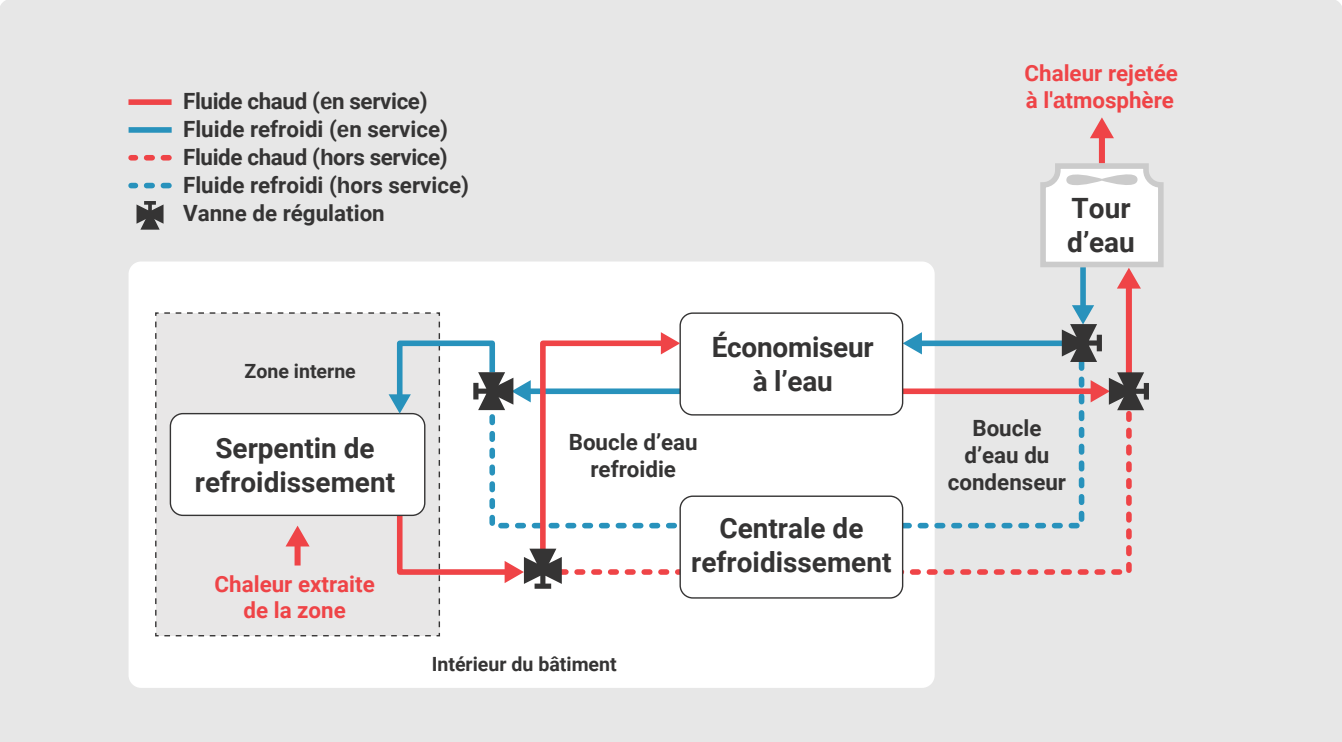

Figure 2 : Économiseur à l'eau

Réviser l'étagement des tours de refroidissement

Lorsqu'il y a plusieurs tours de refroidissement, elles peuvent être installées dans une configuration de type primaire/secondaire, l'une des tours fournissant la plus grande partie du refroidissement nécessaire à la boucle d'eau du condenseur. Pour satisfaire la charge de refroidissement, le ventilateur de la tour de refroidissement principale doit fonctionner en continu à vitesse maximale/constante avant d'activer le ventilateur de la ou des tour(s) de refroidissement secondaire(s).

Là où les ventilateurs des tours de refroidissement sont équipés d'EVV, il est possible d'économiser de l'électricité en faisant fonctionner toutes les unités à des vitesses de ventilateur faibles et modulables. La surface additionnée de transfert de chaleur permet d'obtenir le même refroidissement avec un débit d'air unitaire plus faible. En outre, les ventilateurs consomment beaucoup moins d'énergie à faible vitesse.

Considérations relatives à l'entretien

Des économies supplémentaires de coûts et d'énergie reliées aux systèmes de refroidissement peuvent être réalisées grâce à un équipement correctement entretenu. Le cyclage et l'utilisation constante de l'équipement de refroidissement entraînent des accumulations, un encrassement des filtres et une usure générale. Également, la poussière, la saleté et les feuilles provenant de la zone entourant la tour de refroidissement peuvent créer des restrictions et réduire le rendement. La liste suivante offre des conseils d'entretien qui peuvent contribuer à améliorer le rendement et la fiabilité du système :

- Nettoyage annuel des surfaces des échangeurs de chaleur (ailettes des serpentins pour les systèmes refroidis à l'air et faisceaux de condenseurs pour les systèmes refroidis à l'eau);
- Ajout de filtres à l'eau du condenseur pour les systèmes dotés de tours de refroidissement à circuit ouvert;
- Ajout de filtres latéraux dans la boucle d'eau refroidie pour maintenir la propreté de l'eau.
- Traitement continu de l'eau pour minimiser l'encrassement des tuyaux et des serpentins, la corrosion et la croissance organique;
- Mise en place d'un registre hebdomadaire des conditions d'opération afin d'enregistrer les conditions et d'établir quand les conditions dérivent et sortent de la fourchette « normale »;
- Nettoyage mensuel ou bimensuel des filtres et des crépines dans les systèmes de tuyauterie;
- Installation et nettoyage des filtres à air au niveau des tours de refroidissement, en amont des serpentins de refroidissement, pour éviter l'encrassement des serpentins et maximiser le flux d'air et le transfert de chaleur.

La fréquence de l'entretien des équipements de refroidissement est indiquée dans les manuels d'utilisation et varie en fonction de l'usage qui en est fait.

ÉTUDE DE CAS : Immeuble de bureaux de Vancouver

Un immeuble de bureaux de 50 000 m^2 situé dans le centre-ville de Vancouver utilise une installation de refroidissement avec deux refroidisseurs en série. Le refroidisseur 1 est utilisé comme refroidisseur principal et le refroidisseur 2 est utilisé comme refroidisseur de relève. La boucle d'eau refroidie passe par les deux refroidisseurs et de l'énergie de pompage est perdue dans les serpentins d'évaporation du refroidisseur de relève, qui créent une perte de charge. Dans ce bâtiment, les pompes à eau refroidie fonctionnent pendant toutes les heures d'occupation. Une énergie excédentaire est utilisée puisque les pompes fonctionnent à une vitesse constante, tandis que la charge de refroidissement varie en fonction des conditions météorologiques et de l'occupation.

L'installation d'une vanne à trois voies permettant d'isoler le refroidisseur de relève, et de composantes de contrôle permettant de faire varier le débit des pompes de la boucle d'eau refroidie en fonction de la charge de refroidissement, a réduit la consommation énergétique de ces systèmes, comme le montre la figure 3. Les économies d'électricité calculées s'élèvent à 15 % pour les refroidisseurs et à 53 % pour les pompes, soit un total de 130 000 kWh/an ou 12 000 $ par an.

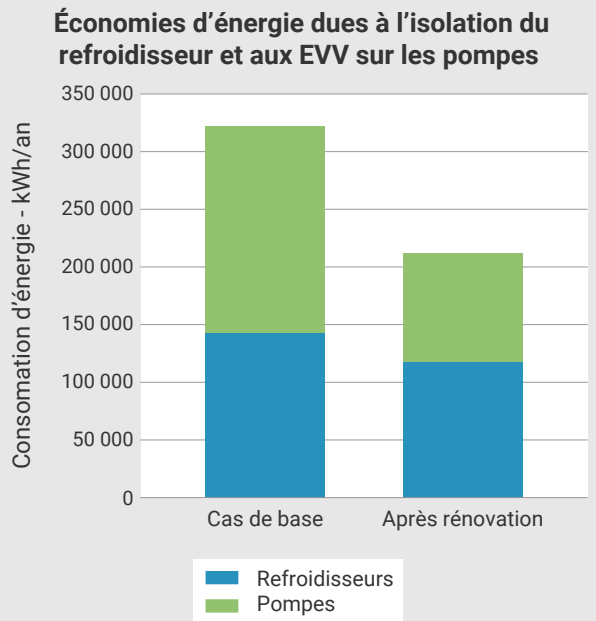

Figure 3 : Économies d'énergie dues à l'isolation du refroidisseur et à l'utilisation d'un entraînement à vitesse variable sur les pompes

Points à retenir

- L'analyse de toutes les composantes d'un système de refroidissement est nécessaire pour son optimisation, étant donné que les modifications apportées à une seule composante peuvent affecter le fonctionnement des autres composantes;
- Il faut minimiser l'élévation de température dans la mesure du possible en augmentant la température de l'eau refroidie et en abaissant la température de l'eau du condenseur (dans les limites des spécifications du fabricant);
- Par temps doux ou pour les besoins de refroidissement pendant l'hiver, le refroidissement peut souvent être assuré par un économiseur à l'eau sans faire fonctionner les refroidisseurs;
- Adapter la température et le débit de l'eau refroidie aux besoins réels de refroidissement du bâtiment;
- Les équipements qui modulent le débit, tels que les pompes, les ventilateurs et les vannes, peuvent réduire la consommation d'énergie des systèmes de refroidissement;
- L'entretien est important pour que les systèmes d'eau refroidie fonctionnent efficacement.

No. cat. : M154-171/2024F-PDF | ISBN : 978-0-660-71073-0
© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2024.

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada
Canada