



---

## Mesure standardisée KA-03

# Optimisations du fonctionnement d'installations frigorifiques par l'abaissement de la température de condensation

## Documentation

Identifiant de la mesure

KA-03

Version

1.0 (11.2024)

---



## 1 Avant-propos

Lors de la session d'automne 2023, le Parlement a fixé aux fournisseurs d'électricité, dans la loi fédérale relative à un approvisionnement en électricité sûr reposant sur des énergies renouvelables, une nouvelle obligation à mettre en œuvre des mesures visant à accroître l'efficacité électrique. L'article 46b de la loi sur l'énergie (LEne ; RS 730.0) dispose que les fournisseurs d'électricité doivent mettre en œuvre des mesures visant à accroître l'efficacité énergétique des appareils, installations ou véhicules électriques existants chez les consommateurs finaux suisses, ou acquérir des preuves des mesures prises si elles sont mises en œuvre par des tiers. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) fournit chaque année une liste des mesures standardisées et des économies d'électricité comptabilisables à l'aide de ces mesures. Les mesures non comprises dans la liste susmentionnée sont soumises à l'OFEN pour approbation en tant que mesures non standardisées.

Pour chaque mesure standardisée, l'OFEN met à disposition un protocole d'économie à l'aide duquel les fournisseurs d'électricité peuvent annoncer les mesures mises en œuvre. La documentation fournie présente en détail la méthode servant à déterminer les économies d'électricité comptabilisables. La méthode décrite ci-après vise à obtenir une estimation globale des économies d'électricité cumulées (énergie finale) pouvant être atteintes sur la durée d'impact par la mise en œuvre d'une mesure donnée visant à accroître l'efficacité électrique. Elle se fonde sur un calcul ex ante et fait usage d'hypothèses et de facteurs définis sur la base de normes en vigueur, d'études de marché, d'écrits scientifiques et d'expertises.

La documentation s'adresse aux fournisseurs d'électricité, aux responsables de la mise en œuvre des mesures visant à accroître l'efficacité énergétique et à toutes les personnes s'intéressant aux économies d'électricité dans le cadre des gains d'efficacité visés à l'article 46b LEne.

## 2 Objectif

L'objectif du présent document est d'estimer de manière forfaitaire les économies d'électricité découlant de la baisse de la température de condensation des installations frigorifiques par divers moyens. Cette mesure ne s'applique pas aux installations frigorifiques au CO<sub>2</sub> et aux systèmes en cascade.

## 3 Symboles, termes et unités

### Lettres latines

| Symbole          | Terme                                    | Unité |
|------------------|--|-------|
| $E$              | Consommation électrique annuelle         | kWh/a |
| $\Delta E_{eco}$ | Économies d'électricité comptabilisables | MWh   |
| $f$              | Facteur                                  | -     |
| $N_s$            | Durée d'impact standard                  | a     |
| $T$              | Température                              | °C    |
| $\dot{Q}$        | Puissance frigorifique                   | kW    |
| $Q$              | Besoin de refroidissement annuel         | kWh/a |
| $t$              | Durée BIN                                | h/a   |
| $EER$            | Coefficient de performance frigorifique  | -     |

### Lettres grecques

| Symbole | Terme              | Unité |
|---------|--------------------|-------|
| $\eta$  | Taux d'utilisation | -     |

### Indices

|     |                         |
|-----|-------------------------|
| $x$ | État (avant, après)     |
| $i$ | Catégorie d'application |
| $j$ | Température extérieure  |



## 4 Description du calcul ex ante

### 4.1 Économies comptabilisables

Les économies d'électricité comptabilisables  $\Delta E_{eco}$  pouvant être atteintes par la mesure sont déterminées par la différence entre la consommation d'électricité actuelle (état actuel)  $E_{alt}$  et la nouvelle consommation d'électricité (état après assainissement)  $E_{neu}$  sur la durée d'impact standard  $N_s$ .

Afin de tenir compte du taux naturel de renouvellement et d'optimisation des appareils et des installations, qui entraîne une baisse de la consommation d'énergie indépendamment du respect des engagements prévus par la loi, un coefficient de réduction  $f_{eco}$  de 0.75 est appliqué aux économies d'énergie comptabilisables.

$$\Delta E_{eco} = 0.001 \cdot (E_{alt} - E_{neu}) \cdot f_{eco} \cdot N_s$$

|                  |   |
|------------------|---|
| $\Delta E_{eco}$ | Économies d'électricité comptabilisables, en kWh                          |
| $E_{alt}$        | Consommation électrique annuelle de l'état existant, en kWh/a             |
| $E_{neu}$        | Consommation électrique annuelle de l'état après assainissement, en kWh/a |
| $f_{eco}$        | Facteur de réduction  |
| $N_s$            | Durée d'impact standard, en années  |

### 4.2 Consommation électrique annuelle

La consommation électrique annuelle résulte de la somme des quotients de la charge annuelle de refroidissement et de l'efficacité de l'installation, qui dépendent à leur tour de l'utilisation et des conditions d'exploitation.

$$E_x = \sum_{j=1}^n \left( \frac{Q_j}{EER_{x,j}} \right)$$

|         |  |
|---------|--|
| $E_x$   | Consommation électrique annuelle, en kWh/a                                       |
| $Q_j$   | Énergie frigorifique en fonction de la température extérieure, en kWh/a          |
| $EER_j$ | Coefficient de performance frigorifique en fonction de la température extérieure |

L'énergie frigorifique dépend du nombre d'heures pendant lesquelles la température extérieure est de  $T_j$  et du besoin de puissance frigorifique pour une température extérieure  $T_j$  donnée.

$$Q_j = t_j \cdot \dot{Q}_j$$

|             |   |
|-------------|---|
| $Q_j$       | Énergie frigorifique en fonction de la température extérieure, en kWh/a |
| $t_j$       | Nombre d'heures à la température extérieure selon BIN, en h/a           |
| $\dot{Q}_j$ | Besoin de puissance frigorifique à la température extérieure, en kW     |

Le nombre d'heures par an durant lesquelles la température extérieure est de  $T_j$  est déterminé au moyen de la méthode BIN en application de la norme SN EN 14825. Le besoin de puissance frigorifique en fonction de la température extérieure est calculé en indiquant la puissance pour une température extérieure donnée et un profil de charge consigné en fonction de l'application frigorifique, conformément au tableau 1.

Le coefficient de performance frigorifique est calculé à partir du rendement théorique de Carnot et le facteur de dégradation (du rendement). Le rendement théorique de Carnot dépend de la température d'évaporation  $T_0$  et de la température de condensation  $T_C$ , qui peut être optimisée en fonction de la mesure.



$$EER_{x,j} = \frac{T_{0,i} + 273,15}{T_{C,x,j} - T_{0,i}} \cdot \eta_{CG}$$

|             |  |
|-------------|--|
| $EER_{x,j}$ | Coefficient de performance frigorifique en fonction de la température extérieure |
| $\eta_{CG}$ | Facteur de dégradation (du rendement de Carnot), sans unité                      |
| $T_{0,i}$   | Température d'évaporation (dépend de l'application de refroidissement), en °C    |
| $T_{C,x,j}$ | Température de condensation (dépend de la température extérieure), en °C         |

La température de condensation  $T_{C,j}$  dépend de la température ambiante  $T_j$  et de la différence de température totale  $\Delta T_{tot,c}$ .

$$T_{C,x,j} = T_{x,j} + \Delta T_{tot,c,x}$$

Il faut garder à l'esprit que la température de condensation ne peut en aucun cas être inférieure à la valeur seuil  $T_{C,min,x}$ .

$$T_{C,x,j} = \begin{cases} T_{C,x,j}, & T_{C,x,j} \geq T_{C,min,x} \\ T_{C,min,x}, & T_{C,x,j} < T_{C,min,x} \end{cases}$$

De plus, l'écart de température entre  $T_{0,i}$  et  $T_{C,j}$  ne doit jamais être inférieur à  $\Delta T_{0,C,min}$ , même lorsque la température extérieure et  $T_{C,min}$  le permettent.

$$T_{C,x,j} = \begin{cases} T_{C,j}, & T_{C,j} - T_{0,i} \geq \Delta T_{0,C,min} \\ T_{0,i} + \Delta T_{0,C,min}, & T_{C,j} - T_{0,i} < \Delta T_{0,C,min} \end{cases}$$

|                      |   |
|----------------------|---|
| $T_{C,x,j}$          | Température de condensation, en °C          |
| $T_{x,j}$            | Température extérieure, en °C               |
| $\Delta T_{tot,c,x}$ | Différence de température totale, en K      |
| $T_{C,min}$          | Température de condensation minimale, en °C |
| $\Delta T_{0,C,min}$ | Différence de température minimale, en K    |

La différence de température totale  $\Delta T_{tot,c,x}$  est formée de plusieurs éléments. Il convient d'abord de distinguer s'il s'agit d'une condensation directe (air / condenseur direct) ou d'un refroidissement par un liquide (aéroréfrigérant avec circuit secondaire).

#### 4.2.1 Condensation directe (air / condenseur direct)

Dans le cas d'une condensation directe (air), la différence de température totale résulte de la  $\Delta T$  entre la température de condensation et la température extérieure ( $\Delta T_{c-j}$ ). Sont également prises en compte les différences de température dues à des salissures de l'unité extérieure ( $\Delta T_{a,sch,x}$ ) ou découlant d'une mauvaise circulation, d'un court-circuit d'air ou du rayonnement solaire touchant l'unité extérieure en raison d'un positionnement incorrect ( $\Delta T_{b,pos,x}$ ).

$$\Delta T_{tot,c,x} = \Delta T_{c-j} + \Delta T_{a,sch,x} + \Delta T_{b,pos,x}$$

|                      |  |
|----------------------|--|
| $\Delta T_{tot,c,x}$ | Différence de température totale, en K   |
| $\Delta T_{c-j}$     | Différence entre la température de condensation et la température extérieure, en K |
| $\Delta T_{a,sch,x}$ | Différence de température due à des salissures des échangeurs de chaleur, en K     |
| $\Delta T_{b,pos,x}$ | Différence entre la température de l'air aspiré et celle de l'air ambiant, en K    |

A. La différence de température supplémentaire due à des échangeurs de chaleur sales est définie au moyen d'un facteur de salissure  $F_S$ . Il est donc possible de déterminer  $\Delta T_{a,sch}$  comme suit :



- Pour le froid positif, le froid négatif, les serveurs informatiques, le refroidissement du processus (condensation directe)

$$\Delta T_{a,sch,x,j} = \begin{cases} \left( 0,6 + (1 - 0,6) \cdot \left( \frac{T_j - 5}{35 - 5} \right) \right) \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{c-j}, & T_j > 5^\circ C \\ 0,6 \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{c-j}, & T_j \leq 5^\circ C \end{cases}$$

- Pour le froid de confort avec évaporation directe et le froid de confort avec frigoporteur (condensation directe)

$$\Delta T_{a,sch,x,j} = \begin{cases} \left( \frac{T_j - 20}{35 - 20} \right) \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{c-j}, & T_j > 20^\circ C \\ 0, & T_j \leq 20^\circ C \end{cases}$$

|                        |  |
|------------------------|--|
| $\Delta T_{a,sch,x,j}$ | Différence de température due à des salissures des échangeurs de chaleur, en K     |
| $T_j$                  | Température extérieure, en °C  |
| $f_{sch,x}$            | Facteur de salissure   |
| $\Delta T_{c-j}$       | Différence entre la température de condensation et la température extérieure, en K |

- B. Le rayonnement solaire et une mauvaise circulation de l'air peuvent avoir pour effet que la température de l'air aspiré  $T_{ans}$  est supérieure à la température extérieure, ce qui donne une différence de température supplémentaire  $\Delta T_{b,pos,x}$ .

- Pour le froid positif, le froid négatif, les serveurs informatiques, le refroidissement du processus (condensation directe)

$$\Delta T_{b,pos,x,j} = \begin{cases} \left( 0,4 + (1 - 0,4) \cdot \left( \frac{T_j - 5}{35 - 5} \right) \right) \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j > 5^\circ C \\ 0,4 \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j \leq 5^\circ C \end{cases}$$

$$\Delta T_{b,pos,max,x} = \frac{\Delta T_{ans-j,mess,x}}{0,4 + 0,6 \cdot \left( \frac{T_{j,mess,x} - 5}{35 - 5} \right)}$$

- Pour le froid de confort avec évaporation directe et le froid de confort avec frigoporteur (condensation directe)

$$\Delta T_{b,pos,x,j} = \begin{cases} \left( 0,7 + (1 - 0,7) \cdot \left( \frac{T_j - 20}{35 - 20} \right) \right) \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j > 20^\circ C \\ 0,7 \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j \leq 20^\circ C \end{cases}$$

$$\Delta T_{b,pos,max,x} = \frac{\Delta T_{ans-j,mess,x}}{0,7 + 0,3 \cdot \left( \frac{T_{j,mess,x} - 20}{35 - 20} \right)}$$

|                           |  |
|---------------------------|--|
| $\Delta T_{b,pos,x,j}$    | Différence entre la température de l'air aspiré et celle de l'air ambiant, en K              |
| $\Delta T_{b,pos,max,x}$  | Différence entre la température de l'air aspiré et celle de l'air ambiant à 35°C, en K       |
| $T_j$                     | Température extérieure, en °C  |
| $\Delta T_{ans-j,mess,x}$ | Mesure de la différence entre la température de l'air aspiré et celle de l'air ambiant, en K |
| $T_{j,mess,x}$            | Température extérieure à laquelle la mesure est effectuée, en °C                             |



- C. Si la machine frigorifique est configurée de manière à maintenir la température de condensation à plus de  $T_{C,min}$ , il est possible de la baisser. La nouvelle température de condensation minimale, optimisée, est exprimée comme suit :

$$T_{C,min,x} = T_{C,opt,x}$$

|               |  |
|---------------|--|
| $T_{C,min,x}$ | Température de condensation minimale, en °C  |
| $T_{C,opt,x}$ | Température de condensation optimisée, en °C |

#### 4.2.2 Refroidissement par un liquide (aérefroidisseur avec circuit secondaire)

Dans le cas d'un aérefroidisseur avec circuit secondaire, la différence de température totale résulte de la  $\Delta T$  entre la température de condensation et la température d'entrée du circuit secondaire du condenseur ( $\Delta T_{c-sek,ein}$ ) et de la  $\Delta T$  entre la température à l'entrée du circuit secondaire du condenseur et la température ambiante ( $\Delta T_{sek,ein-j}$ ). Sont également prises en compte les différences de température dues à des salissures de l'unité extérieure ( $\Delta T_{a,sch}$ ) ou découlant d'une mauvaise circulation, d'un court-circuit d'air ou du rayonnement solaire touchant l'aérefroidisseur en raison d'un positionnement incorrect ( $\Delta T_{b,pos}$ ).

$$\Delta T_{tot,c,x} = \Delta T_{c-sek,ein} + \Delta T_{sek,ein-j} + \Delta T_{a,sch,x} + \Delta T_{b,pos,x}$$

|                        |  |
|------------------------|--|
| $\Delta T_{tot,c,x}$   | Différence de température totale, en K   |
| $\Delta T_{c-sek,ein}$ | Différence entre la température de condensation et la température d'entrée, en K |
| $\Delta T_{sek,ein-j}$ | Différence entre la température d'entrée et la température ambiante, en K        |
| $\Delta T_{a,sch,x}$   | Différence de température due à des salissures des échangeurs de chaleur, en K   |
| $\Delta T_{b,pos,x}$   | Différence entre la température de l'air aspiré et celle de l'air ambiant, en K  |

- A. La différence de température supplémentaire due à des échangeurs de chaleur sales est définie au moyen d'un facteur de salissure  $F_S$ . Il est donc possible de déterminer  $\Delta T_{a,sch}$  comme suit :

- Pour le froid positif, le froid négatif, les serveurs informatiques, le refroidissement du processus (condensation directe)

$$\Delta T_{a,sch,x,j} = \begin{cases} \left( 0,6 + (1 - 0,6) \cdot \left( \frac{T_j - 5}{35 - 5} \right) \right) \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{sek,ein-j}, & T_j > 5^\circ\text{C} \\ 0,6 \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{sek,ein-j}, & T_j \leq 5^\circ\text{C} \end{cases}$$

- Pour le froid de confort avec évaporation directe et le froid de confort avec frigoporteur (condensation directe)

$$\Delta T_{a,sch,x,j} = \begin{cases} \left( \frac{T_j - 20}{35 - 20} \right) \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{sek,ein-j}, & T_j > 20^\circ\text{C} \\ 0, & T_j \leq 20^\circ\text{C} \end{cases}$$

|                        |  |
|------------------------|--|
| $\Delta T_{a,sch,x,j}$ | Différence de température due à des salissures des échangeurs de chaleur, en K     |
| $T_j$                  | Température extérieure, en °C  |
| $f_{sch,x}$            | Facteur de salissure   |
| $\Delta T_{c-j}$       | Différence entre la température de condensation et la température extérieure, en K |

- B. Le rayonnement solaire et une mauvaise circulation de l'air peuvent avoir pour effet que la température de l'air aspiré  $T_{ans}$  est supérieure à la température extérieure, ce qui donne une différence de température supplémentaire  $\Delta T_{b,pos}$ .



- Pour le froid positif, le froid négatif, les serveurs informatiques, le refroidissement du processus (condensation directe)

$$\Delta T_{b,pos,x,j} = \begin{cases} \left( 0,4 + (1 - 0,4) \cdot \left( \frac{T_j - 5}{35 - 5} \right) \right) \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j > 5^\circ\text{C} \\ 0,4 \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j \leq 5^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$\Delta T_{b,pos,max,x} = \frac{\Delta T_{ans-j,mess,x}}{0,4 + 0,6 \cdot \left( \frac{T_{j,mess,x} - 5}{35 - 5} \right)}$$

- Pour le froid de confort avec évaporation directe et le froid de confort avec frigoporteur (condensation directe)

$$\Delta T_{b,pos,x,j} = \begin{cases} \left( 0,7 + (1 - 0,7) \cdot \left( \frac{T_j - 20}{35 - 20} \right) \right) \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j > 20^\circ\text{C} \\ 0,7 \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j \leq 20^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$\Delta T_{b,pos,max,x} = \frac{\Delta T_{ans-j,mess,x}}{0,7 + 0,3 \cdot \left( \frac{T_{j,mess,x} - 20}{35 - 20} \right)}$$

|                           |  |
|---------------------------|--|
| $\Delta T_{b,pos,x,j}$    | Différence entre la température de l'air aspiré et celle de l'air ambiant, en K              |
| $\Delta T_{b,pos,max,x}$  | Différence entre la température de l'air aspiré et celle de l'air ambiant à 35°C, en K       |
| $T_j$                     | Température extérieure, en °C  |
| $\Delta T_{ans-j,mess,x}$ | Mesure de la différence entre la température de l'air aspiré et celle de l'air ambiant, en K |
| $T_{j,mess,x}$            | Température extérieure à laquelle la mesure est effectuée, en °C                             |

- C. Si la machine frigorifique est configurée de manière à maintenir la température de condensation à plus de  $T_{C,min}$ , il est possible de la baisser. La nouvelle température de condensation minimale, optimisée, est exprimée comme suit :

$$T_{C,min,x} = T_{C,opt,x}$$

|               |  |
|---------------|--|
| $T_{C,min,x}$ | Température de condensation minimale, en °C  |
| $T_{C,opt,x}$ | Température de condensation optimisée, en °C |

#### 4.2.3 Free-Cooling de serveurs informatiques

Si le système de refroidissement pour des *serveurs informatiques* implique un Free-Cooling, la charge de refroidissement est nulle à partir d'une certaine température extérieure (au bulbe humide). La valeur seuil dépend de la température d'application.

$$\dot{Q}_j = \begin{cases} \dot{Q}_j, & T_j > T_{fc,min} \\ 0, & T_j \leq T_{fc,min} \end{cases}$$

|              |   |
|--------------|---|
| $\dot{Q}_j$  | Besoin de puissance frigorifique, en kW                     |
| $T_j$        | Température extérieure, en °C                               |
| $T_{fc,min}$ | Température seuil pour l'application du Free-Cooling, en °C |



#### 4.2.4 Nombre d'heures d'exploitation du refroidisseur de processus

Comme certains *refroidisseurs de processus* ne fonctionnent pas 24 heures sur 24, le nombre d'heures d'exploitation  $h_{pr.}$  par jour peut être ajusté pour cette application. Cela entraîne une diminution des heures d'exploitation selon BIN.

$$t_j = \begin{cases} t_j, & h_{pr.} = 24 \\ t_j \cdot \frac{t_{pr.}}{24}, & h_{pr.} < 24 \end{cases}$$

$t_j$  Nombre d'heures selon BIN, en h/a

$t_{pr.}$  Nombre d'heures d'exploitation par jour pour les refroidisseurs de processus.

### 5 Variables d'entrée

#### Généralités

- Type d'application frigorifique (*choix multiple*)
- Type de dissipation de chaleur (*choix entre deux options*)
- Besoin de puissance frigorifique, en kW (*nombre à virgule*)

#### Selon l'application

- Présence de Free-Cooling, pour les *serveurs informatiques* (*choix entre deux options*)
- Nombre d'heures d'exploitation par jour, pour le *refroidissement du processus* (*nombre entier*)

#### Selon la mesure

- Nettoyage du condenseur (*choix entre deux options*)
- Mesure de la différence entre la température de l'air aspiré et celle de l'air ambiant, en °C (*nombre à virgule*)
- Mesure de la température ambiante, en °C (*nombre à virgule*)
- Réglages de la température de condensation minimale, en °C (*nombre à virgule*)

### 6 Hypothèses et données

#### Généralités

- i. La température extérieure à laquelle le besoin de puissance frigorifique est défini s'élève à 35 °C.
- ii. La température de condensation minimale  $T_{C,min}$  et l'écart de température  $\Delta T_{0,C,min}$  sont de 25 °C.
- iii. Les durées BIN correspondent aux valeurs standard de la station météorologique de Zurich conformément au cahier technique SIA 2028 [2].
- iv. Le cycle de Carnot  $\eta_{CG}$  est de 0.45 [3,4].
- v. Les différences de température  $\Delta T_{c-j}$ ,  $\Delta T_{c-sek,ein}$  et  $\Delta T_{sek,ein-j}$  sont définies au tableau 1 [1].
- vi. Le Free-Cooling est utilisé lorsque la température de l'air extérieur au thermomètre à bulbe humide est inférieure de 15 K  $T_{fc,min}$  à la température d'application (21 °C resp. 28 °C) [1]. La limite appliquée pour le Free-Cooling est donc la température extérieure correspondante avec une humidité relative de l'air de 50 %.



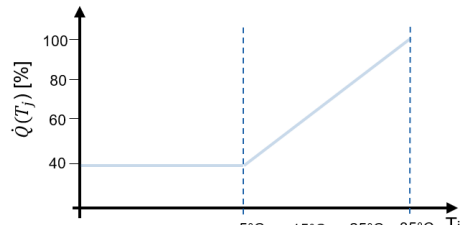
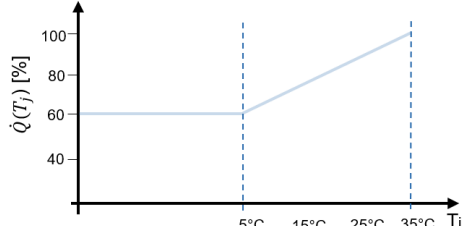
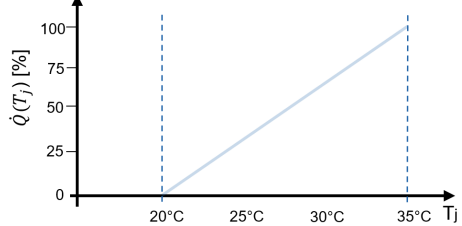
**Tableau 1** Détermination de  $\Delta T_{c-j}$ ,  $\Delta T_{c-sek,ein}$  et  $\Delta T_{sek,ein-j}$ 

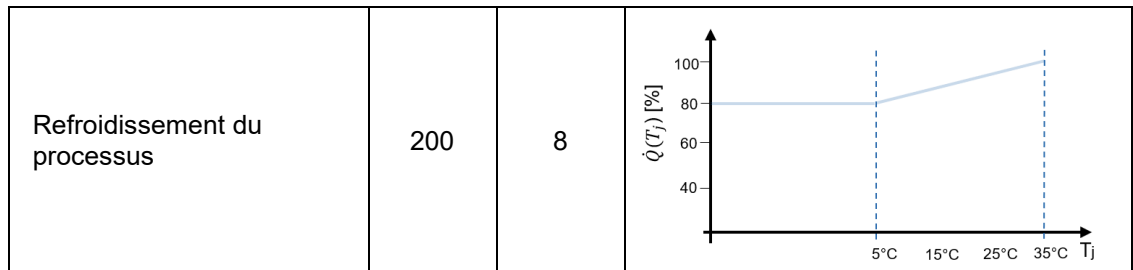
| Condenseur /<br>aéroréfrigérant                  | Calcul de $\Delta T$  | $\Delta T$<br>[K] |
|--|---|-------------------|
| Air (condenseur direct) :<br>froid négatif       | $\Delta T_{c-j} = T_c(\text{température de condensation})$<br>$- T_{air}(\text{entrée condenseur})$         | 10                |
| Air (condenseur direct) :<br>autres applications | $\Delta T_{c-j} = T_c(\text{température de condensation})$<br>$- T_{air}(\text{entrée condenseur})$         | 13                |
| Eau (aéroréfrigérant)                            | $\Delta T_{c-sek,ein} = T_c(\text{temp. condens.})$<br>$- T_{agent\ caloporteur}(\text{entrée condenseur})$ | 9                 |
| Eau (aéroréfrigérant)                            | $\Delta T_{sek,ein-j} = T_{agent\ caloporteur}(\text{entrée condenseur})$<br>$- T_j(\text{temp. ext.})$     | 6                 |

**Selon l'application**

- vii. La température d'évaporation  $T_{0,i}$  dépend de l'application conformément au tableau 1. Cela permet également de définir le profil de charge [1].
- viii. Selon l'application, la méthode décrite n'est valable que jusqu'à un certain besoin de puissance frigorifique  $\dot{Q}_{max}$ . Les valeurs correspondantes sont précisées au tableau 2.

**Tableau 2** Température d'évaporation et profil de charge selon l'application

| Refroidissement                           | $\dot{Q}_{max}$<br>[kWh] | $T_{0,i}$<br>[°C] | Profil de charge   |
|---|--------------------------|-------------------|--|
| Froid positif                             | 40                       | -10               |  |
| Froid négatif                             | 30                       | -30               |  |
| Froid de confort<br>(évaporation directe) | 80                       | 7                 |  |
| Froid de confort<br>(frigoporteur)        | 200                      | 3                 |  |
| Serveurs informatiques<br>(28°C)          | 200                      | 20                |  |
| Serveurs informatiques<br>(21°C)          | 200                      | 13                |  |



#### Selon la mesure

- ix. La durée d'impact standard  $N_s$  de la mesure pour le nettoyage des condenseurs (A) est d'un an.
- x. Les durées d'impact standard  $N_s$  des mesures pour la réduction des courts-circuits d'air (B) et de la température de condensation minimale (C) sont de cinq ans.
- xi. Le facteur de salissure  $f_{sch}$  est de 0.35 pour les échangeurs de chaleur sales, de 0 pour les échangeurs propres [1].
- xii. Pour les mesures de réduction des courts-circuits d'air (B) et de la température de condensation minimale (C), le facteur de salissure  $f_{sch}$  de l'échangeur de chaleur est de 0 (on admet qu'il est propre).

## 7 Résultats

Compte tenu des hypothèses et des données présentées, les économies d'électricité imputables pour chaque installation frigorifique sont déterminées en fonction des variables d'entrée fixées. Pour ce faire, on utilise les listes de monitoring KA-01, accessible au public.

## 8 Exemple

Scénario A : Un meilleur positionnement et/ou l'optimisation du flux d'air du condenseur d'une installation frigorifique destinée à la climatisation de confort avec un réseau frigoporteur. La puissance frigorifique au point de dimensionnement (35°C) est de 100 kW. Avant la mesure d'optimisation, la différence de température entre l'air ambiant et l'air entrant dans le condenseur est mesurée à 7,6 K pour une température ambiante de 21°C. Une fois la mesure effectuée, la différence entre ces mêmes températures s'élève à 3,2 K pour une température ambiante de 24°C.

| Application                     | Variables d'entrée   | Valeurs      |       | Économies d'électricité imputables |
|---------------------------------|--|--------------|-------|------------------------------------|
|                                 |  | Avant        | Après | [MWh]                              |
| Froid de confort (frigoporteur) | Niveau auquel est maintenue la température de condensation, °C   | -            |       |                                    |
|                                 | Besoin de refroidissement au point de dimensionnement, kW        | 75           |       |                                    |
|                                 | Dissipation de chaleur   | Air (direct) |       |                                    |
|                                 | $\Delta T_{\text{pos}}$ ( $T_{\text{ein}} - T_{\text{amb}}$ ), K | 7.6          | 3.2   |                                    |
|                                 | $T_{\text{amb}}$ lors de la mesure, °C                           | 21           | 24    |                                    |
| Total                           |  |              |       | 2.4                                |



Scénario B: Nettoyage de l'aéroréfrigérant d'une installation frigorifique pour des serveurs informatiques (21 °C). La puissance frigorifique au point de dimensionnement (35 °C) est de 160 kW et un Free-Cooling est présent.

| Application                   | Variables d'entrée   | Valeurs  |        | Économies d'électricité imputables |
|-------------------------------|--|----------|--------|------------------------------------|
|                               |  | Avant    | Après  | [MWh]                              |
| Serveurs informatiques (21°C) | Niveau auquel est maintenue la température de condensation, °C | -        |        |                                    |
|                               | Besoin de refroidissement au point de dimensionnement, kW      | 160      |        |                                    |
|                               | Dissipation de chaleur   | Eau (AR) |        |                                    |
|                               | Free-Cooling   | Oui      |        |                                    |
|                               | Salissure de l'aéroréfrigdisseur                               | sale     | propre |                                    |
| Total                         |  |          |        | 1.4                                |

## 9 Sources

- [1] Atelier d'experts, valeurs empiriques
- [2] Société suisse des ingénieurs et architectes, *Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment*, SIA 2028, 2010
- [3] BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, *programme en ligne de sélection des compresseurs Bitzer - logiciel Bitzer version 6.5.0*, <https://www.bitzer.de/websoftware/Default.aspx>, consulté pour la dernière fois le 12 août 2024
- [4] Tecumseh Products Company LLC, *programme en ligne de sélection des compresseurs Tecumseh - version 4.0*, [http://www.tecumseh.com/de/Europe/Sel\\_Soft\\_V4\\_0](http://www.tecumseh.com/de/Europe/Sel_Soft_V4_0), consulté pour la dernière fois le 12 août 2024