



---

## Mesure standardisée KA-05

# Optimisation de l'exploitation d'installations frigorifiques

## Documentation

Identifiant de la mesure

KA-05

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 réalisées en réduisant le temps de fonctionnement des installations frigorifiques. Il est possible de réduire le temps de fonctionnement en arrêtant l'installation frigorifique, soit certains jours de la semaine (p. ex. samedi et dimanche), soit pendant des semaines entières d'arrêt de l'exploitation (p. ex. vacances semestrielles, vacances d'entreprise). Cette mesure n'est applicable qu'aux installations frigorifiques destinées à la climatisation de confort.

## 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	-
$n$	Nombre	
$N_s$	Durée d'impact standard	a
$T$	Température	°C
$\dot{Q}$	Puissance de refroidissement	kW
$Q$	Besoin annuel de refroidissement	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
$k$	Catégorie de bâtiment

## 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 de l'état existant

Si la consommation électrique annuelle de l'état existant  $E_{alt}$  est connue (p. ex. à partir des chiffres de l'année précédente), il est possible de l'indiquer directement. Si la consommation annuelle d'électricité de l'installation frigorifique n'est pas connue, elle est calculée en additionnant les quotients de la charge de refroidissement annuelle et de l'efficacité de l'installation, qui dépendent tous deux de l'application et des différentes conditions d'exploitation.

$$E_{alt} = \sum_{j=1}^n \left( \frac{Q_j}{EER_j} \right)$$

$Q_j$	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
$T_j$	Température extérieure, en °C
$\dot{Q}_j$	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 2.

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 de condensation  $T_c$  et de la température d'évaporation  $T_0$ , qui peut être optimisée en fonction des mesures prises.

$$EER_j = \frac{T_{0,i} + 273,15}{T_{c,j} - T_{0,i}} \cdot \eta_{CG}$$

$EER_j$	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 frigorifique), en °C
$T_{c,j}$	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 totale de température  $\Delta T_{tot,c}$ .

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

Il convient de noter que la température de condensation ne peut en aucun cas être inférieure à la valeur seuil  $T_{c,min}$ .

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

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 si la température extérieure et  $T_{c,min}$  le permettent.

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

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

La différence de température totale  $\Delta T_{tot,c}$  est formée de plusieurs composants. Il convient de distinguer s'il s'agit d'une condensation directe (air / condenseur direct) ou d'un refroidissement par un liquide (aérorefroidisseur 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 ( $\Delta T_{c-j}$ ).

$$\Delta T_{tot,c} = \Delta T_{c-j}$$

$\Delta T_{tot,c}$	Différence de température totale, en K
$\Delta T_{c-j}$	Différence entre la température de condensation et la température extérieure, en K



#### 4.2.2 Refroidi par un liquide (aérorefroidisseur à circuit secondaire)

Dans le cas d'un aérorefroidisseur à circuit secondaire, la différence de température totale résulte de la  $\Delta T$  entre la température de condensation et la température à l'entrée du circuit secondaire du condenseur ( $\Delta T_{c-sek,ein}$ ) et de la  $\Delta T$  entre la température d'entrée du circuit secondaire du condenseur et la température ambiante ( $\Delta T_{sek,ein-j}$ ).

$$\Delta T_{tot,c} = \Delta T_{c-sek,ein} + \Delta T_{sek,ein-j}$$

$\Delta T_{tot,c}$	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

#### 4.3 Consommation électrique annuelle d'électricité de l'état après assainissement

La consommation électrique annuelle de l'état après assainissement  $E_{neu}$  est obtenue en calculant l'économie résultant de la réduction du temps de fonctionnement à partir de l'ancienne consommation électrique  $E_{alt}$ . Il est possible de réduire le temps de fonctionnement en arrêtant l'installation frigorifique, soit certains jours de la semaine, soit pendant des semaines entières d'arrêt de l'exploitation.

- A. S'il est possible d'éteindre l'installation frigorifique systématiquement certains jours de la semaine pendant toute la période de refroidissement, la consommation électrique annuelle de l'état après assainissement  $E_{neu}$  est calculée à partir des jours de la semaine d'arrêt de l'exploitation  $n_d$  et d'un facteur de réduction  $f_{a,k}$ .

$$E_{neu} = E_{alt} - E_{alt} \cdot \frac{n_d}{7} \cdot f_{a,k}$$

$n_d$	Nombre de jours de la semaine d'arrêt de l'exploitation, en jours
$f_{a,k}$	Facteur de réduction annuel (en fonction de la catégorie de bâtiment)

Le facteur de réduction tient compte du fait que la charge de refroidissement est plus faible les jours d'arrêt de l'exploitation que les jours d'exploitation normale (en raison des personnes présentes et des charges internes).

- B. S'il est possible d'éteindre l'installation frigorifique pendant une ou plusieurs semaines pendant la période de refroidissement (p. ex. pendant les vacances d'entreprise), la consommation électrique annuelle de l'état après assainissement  $E_{neu}$  est calculée en déduisant de l'ancienne consommation d'électricité la charge de refroidissement pendant les semaines de vacances.

$$E_{neu} = E_{alt} - E_{alt} \cdot (\eta_{w,m,k} \cdot n_w \cdot f_{m,k})$$

$\eta_{w,m,k}$	Part hebdomadaire de refroidissement (dépend du mois et de la catégorie de bâtiment)
$n_w$	Nombre de semaines sans exploitation, en semaines
$f_{m,k}$	Facteur mensuel de réduction (dépend du mois et de la catégorie de bâtiment)

La part hebdomadaire de refroidissement  $\eta_{w,m,k}$  indique la part de la charge annuelle de refroidissement au cours d'une semaine d'un mois donné. Sa valeur dépend du mois et de la catégorie de bâtiment. Le facteur mensuel de réduction  $f_{m,k}$  tient compte du fait que la charge de refroidissement est plus faible les semaines d'arrêt de l'exploitation que les autres semaines. Le facteur de réduction dépend également du mois et de la catégorie de bâtiment.

## 5 Variables d'entrée

### Généralités

- Type d'application frigorifique (*choix entre deux options*)



- Type de dissipation de chaleur (*choix entre deux options*)
- Besoin de puissance frigorifique en kW (*nombre décimal*)

Selon la mesure

- Type de réduction de l'exploitation (*choix entre deux options*)
- Catégorie de bâtiment (*choix multiple*)
- Nombre de jours de la semaine d'arrêt de l'exploitation (*nombre entier*)
- Nombre de semaines sans exploitation (*nombre entier*)
- Mois au cours duquel les semaines d'arrêt de l'exploitation ont lieu (*choix multiple*)

## 6 Hypothèses et données

Généralités

- La durée d'utilisation standard  $N_S$  des mesures est d'un an à chaque fois.
- La température extérieure servant à définir le besoin de puissance frigorifique est de 35°C.
- La température minimale de condensation  $T_{C,min}$  et l'écart de température  $\Delta T_{0,C,min}$  sont de 25°C.
- Les durées BIN correspondent aux valeurs standard de la station météorologique de Zurich conformément au cahier technique SIA 2028 [1].
- Le cycle de Carnot  $\eta_{CG}$  est de 0,45 [2,3].
- Les différences de température  $\Delta T_{c-j}$ ,  $\Delta T_{c-sek,ein}$  et  $\Delta T_{sek,ein-j}$  sont définies au tableau 1 [4].

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

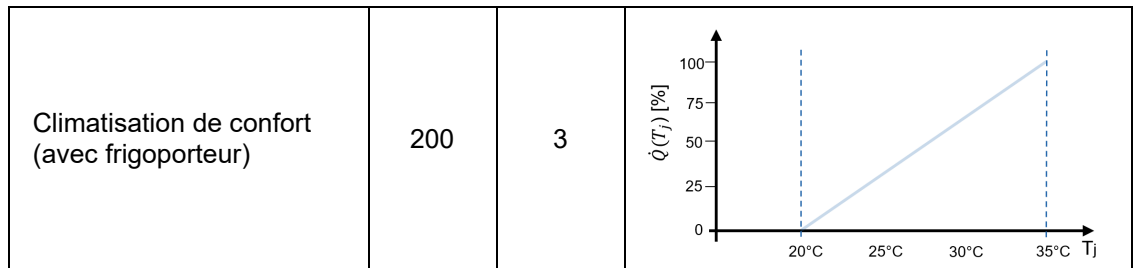
Condenseur aérorefroidisseur	/	Calcul de $\Delta T$	$\Delta T$ [K]
Air (condenseur direct)		$\Delta T_{c-j} = T_C(\text{température de condensation})$ $- T_{luft}(\text{entrée du condenseur})$	13
Eau (aérorefroidisseur)		$\Delta T_{c-sek,un}$ $= T_C(\text{température de condensation})$ $- T_{agent\ caloporteur}(\text{entrée du condenseur})$	9
Eau (aérorefroidisseur)		$\Delta T_{sek,ein-j} = T_{agent\ caloporteur}(\text{entrée du condenseur})$ $- T_j(\text{température extérieure})$	6

Selon l'application

- La température d'évaporation  $T_{0,i}$  dépend de l'application conformément au tableau 2. Cela permet également de définir le profil de charge [2].
- 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 dans le tableau 2.

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

Refroidissement	$\dot{Q}_{max}$ [kW]	$T_{0,i}$ [°C]	Profil de charge
Climatisation de confort (évaporation directe)	80	7	



- ix. Les facteurs de réduction mensuels et le facteur de réduction annuel dépendent de la catégorie de bâtiment. Le facteur de réduction annuel  $f_{a,k}$  correspond à la moyenne pondérée des facteurs de réduction mensuels, pondérés en fonction de leur part dans la charge annuelle de refroidissement.

Les facteurs de réduction sont calculés à partir des fiches techniques des locaux SIA 2024 [5]. Dans un premier temps, le besoin de froid mensuel (par un rayonnement solaire de 100 %) est calculé pour tous les locaux climatisés, déduction faite des charges internes liées aux personnes, aux appareils et à l'éclairage. Le facteur de réduction mensuel  $f_{w,m,k}$  correspond au rapport entre la charge frigorifique sans les charges internes et la charge de froid avec les charges internes. Cela peut varier d'un mois à l'autre.

L'étape suivante consiste à harmoniser les facteurs de réduction des locaux pour les catégories de bâtiments sélectionnées. Les catégories de bâtiments sont composées de plusieurs locaux. Pour chaque catégorie de bâtiment, on calcule la moyenne pondérée des facteurs de réduction, pondérée selon la part de surface typique des locaux par catégorie de bâtiment conformément à la norme SIA 2024 (annexe F) [5].

**Tableau 3** Facteurs de réduction mensuels et annuels, selon la catégorie de bâtiment

Catégorie de bâtiment	$f_{w,mai,k}$	$f_{w,jun,k}$	$f_{w,jul,k}$	$f_{w,aug,k}$	$f_{w,sep,k}$	$f_{a,k}$
Bureau	0.045	0.464	0.672	0.630	0.040	0.498
École	0.000	0.044	0.241	0.198	0.000	0.159
Vente (commerce spécialisé)	0.000	0.192	0.426	0.422	0.000	0.248
Restaurant (avec cuisine)	0.000	0.042	0.119	0.104	0.000	0.087
Local de réunion	0.000	0.051	0.129	0.120	0.000	0.079
Industrie	0.000	0.162	0.669	0.629	0.000	0.547

- x. La part hebdomadaire de refroidissement  $\eta_{w,m,k}$  décrit la part moyenne de la charge annuelle de refroidissement et dépend du mois et de la catégorie de bâtiment. Pour cela, on calcule la part de la charge de refroidissement d'un mois par rapport à la charge de refroidissement annuelle, conformément à la norme SIA 2024 [5]. Cette valeur est multipliée par la part que représentent 7 jours dans le mois en question, soit 7/30 ou 7/31.

**Tableau 4** Part de refroidissement hebdomadaire, par mois et par catégorie de bâtiment

Catégorie de bâtiment	$\eta_{w,mai,k}$	$\eta_{w,jun,k}$	$\eta_{w,jul,k}$	$\eta_{w,aug,k}$	$\eta_{w,sep,k}$
Bureau	0.022	0.050	0.071	0.066	0.019
École	0.010	0.049	0.085	0.078	0.006
Vente (commerce spécialisé)	0.035	0.046	0.055	0.055	0.037
Restaurant (avec cuisine)	0.002	0.012	0.020	0.018	0.001
Local de réunion	0.012	0.018	0.023	0.022	0.012



Industrie	0.002	0.046	0.094	0.084	0.001
-----------	-------	-------	-------	-------	-------

## 7 Résultats

Compte tenu des hypothèses et données présentées, les économies d'électricité comptabilisables pour chaque installation frigorifique sont déterminées sur la base des variables d'entrée fixées. On utilise pour cela la liste de monitoring KA-05 accessible au public.

## 8 Exemple

Scénario A : Un immeuble de bureaux à Locarno peut éteindre la climatisation de confort les week-ends pendant toute la période de refroidissement. Ainsi, l'installation frigorifique est éteinte deux jours par semaine.

Application	Variables d'entrée	Valeurs		Économies d'électricité comptabilisables
		Avant	Après	[MWh]
Climatisation de confort (évaporation directe)	Site	Locarno		
	Besoin de refroidissement au point de dimensionnement, en kW	50		
	Dissipation de chaleur	Air (direct)		
	Catégorie de bâtiment	Bureau		
	Nombre de jours de la semaine d'arrêt de l'exploitation*	0	2	
Total				0.7

\* Installation frigorifique éteinte

Scénario B : Une école de Zurich éteint son installation frigorifique pendant les vacances d'été. Le personnel enseignant consacre la dernière semaine des vacances scolaires à la préparation et à la formation continue. L'installation frigorifique peut être éteinte pendant les quatre premières semaines de juillet.

Application	Variables d'entrée	Valeurs		Économies d'électricité comptabilisables
		Avant	Après	[MWh]
Froid de confort (avec frigoporteur)	Site	Zurich		
	Besoin de refroidissement au point de dimensionnement, en kW	130		
	Dissipation de chaleur	Eau (aérorefroidisseur)		
	Catégorie de bâtiment	École		
	Nombre de semaines sans exploitation*	0	4	
	Mois au cours duquel l'exploitation est arrêtée	-	Juillet	
Total				0.5





\* Installation frigorifique éteinte

## 9 Sources

- [1] Société suisse des ingénieurs et architectes, *Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment*, SIA 2028, 2010
- [2] 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
- [3] Tecumseh Products Company LLC, *programme en ligne de sélection des compresseurs Tecumseh - version 4.0*, [https://www.tecumseh.com/de/Europe/Sel\\_Soft\\_V4\\_0](https://www.tecumseh.com/de/Europe/Sel_Soft_V4_0), consulté pour la dernière fois le 12 août 2024
- [4] Atelier d'experts, valeurs empiriques
- [5] Société suisse des ingénieurs et des architectes, *Données d'utilisation des locaux pour l'énergie et les installations du bâtiment*, SIA 2024, 01.12.2021