

Klimakälteanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen

Impianti di climatizzazione degli edifici – Basi e requisiti

Installations de refroidissement dans les bâtiments – Bases générales et performances requises

Projet mis en consultation prSIA 384/4:2023-10

Nous vous prions de bien vouloir examiner le document et de nous transmettre vos éventuelles prises de position, classées selon les numéros du document, à l'adresse de SIA384-4@sia.ch

Nous vous prions de n'utiliser à cet effet que le formulaire électronique qui peut être téléchargé www.sia.ch/consultations. Nous ne pouvons malheureusement pas prendre en considération les prises de position nous parvenant sous une autre forme.

Échéance de la consultation: **20 décembre 2023**

Ce projet n'a aucune validité et ne doit en aucun cas servir de référence.

Les rectificatifs éventuels concernant la présente publication sont disponibles sous www.sia.ch/rectificatif.

La SIA décline toute responsabilité en cas de dommages qui pourraient survenir du fait de l'application de la présente publication.

TABLE DES MATIÈRES

	Page		Page
AVANT-PROPOS.....	5	6.6	Sécurité de fonctionnement et efficacité énergétique dans les concepts d'installations ...40
0 CHAMP D'APPLICATION.....	6	6.7	Monitoring.....42
0.1 Délimitation.....	6	7 Accumulateur	44
0.2 Conditions générales pour la construction.....	7	7.1	Exigences envers l'accumulateur de froid.....44
0.3 Références normatives	7	7.2	Exigences posées à l'accumulateur de chaleur 45
0.4 Dérogations	8	8 Distribution du froid	46
0.5 Remarques concernant l'application de la norme	8	8.1	Généralités
1 TERMINOLOGIE	9	8.2	Eau froide
1.1 Termes et définitions.....	9	8.3	Frigoporteur (mélange d'eau et d'antigel)
1.2 Symboles, termes et unités	16	8.4	Systèmes hydrauliques d'émission de froid
1.3 Indices.....	17	8.5	Choix de la pompe de circulation
1.4 Abréviations.....	18	8.6	Isolation d'installations frigorifiques
2 Exigences.....	19	8.7	Protection contre le gel.....53
2.1 Exigences relatives à la construction	19	8.8	Décompte des coûts du froid
2.2 Conditions extérieures	19	9 Système d'émission de froid.....	54
2.3 Confort	19	9.1	Généralités
2.4 Définition de l'utilisation.....	20	9.2	Réflexions conceptuelles concernant l'émission de froid
2.5 Besoin énergétique.....	20	9.3	Dimensionnement du système d'absorption de chaleur (système de refroidissement).....55
2.6 Exigences en matière de protection acoustique	21	10 Systèmes d'utilisation de la chaleur ..	57
2.7 Durée de vie, protection incendie et accessibilité	21	10.1	Généralités
3 Énergie, électricité et chaleur ambiante	23	10.2	Utilisation de la chaleur
3.1 Généralités.....	23	10.3	Post-refroidisseur
3.2 Électricité.....	23	10.4	Systèmes de condenseur direct (installations compactes)
3.3 Free-cooling	24	11 Régulation, commande et surveillance des installations frigorifiques	61
3.4 Aqua-cooling	24	11.1	Généralités
3.5 Geo-cooling	24	11.2	Régulation de l'émission de froid (local)
4 Machine thermofrigorifique.....	25	11.3	Régulation de la distribution de froid
4.1 Généralités.....	25	11.4	Régulation de la machine thermofrigorifique.....65
4.2 Emplacement de la machine thermofrigorifique	25	11.5	Régulation des post-refroidisseurs
4.3 Détermination de la puissance de la machine thermofrigorifique.....	26	11.6	Mesures.....66
4.4 Informations concernant différents types de producteurs de froid	28	12 Contrôles	68
4.5 Systèmes eau-air	28	12.1	Principes.....68
4.6 Systèmes eau-eau	28	12.2	Mise en exploitation.....68
4.7 Chaleur : utiliser ou évacuer	30	12.3	Tests intégrés dans le processus de construction
4.8 Dispositifs techniques de sécurité.....	32	12.4	Réception partielle
5 Fluides frigorigènes	33	12.5	Réception
5.1 Généralités.....	33	13 Exploitation et maintenance.....	74
5.2 Sécurité et fluides frigorigènes.....	33	13.1	Généralités
6 Efficacité énergétique	34	13.2	Notices d'exploitation, d'entretien et d'utilisation.....74
6.1 Généralités.....	34	13.3	Pannes
6.2 Efficacité de la machine thermofrigorifique.....	36	13.4	Entretien, inspection et optimisation énergétique de l'exploitation
6.3 Efficacité de récupérateurs de chaleur	39		
6.4 Efficacité et comportement sous charge partielle	40		
6.5 Efficacité des pompes de circulation	40		

Page

14	Renouvellement et remplacement	76
14.1	Réflexions conceptuelles.....	76
14.2	Dimensionnement de la machine thermo- frigorifique dans le cas d'un remplacement	76
14.3	Planification d'un remplacement	77
14.4	Réparation et transformation d'une machine thermofrigorifique.....	77
15	Démontage et élimination	78
Annexe A	(normative) Utilisation de la chaleur I .	79
Annexe B	(informative) Utilisation de la chaleur II.....	80
Annexe C	(informative) Encombrement.....	83
Annexe D	(informative) Refroidissement de petits locaux individuels	84
Annexe E	(informative) Dimensionnement accumulateur de froid	85
Annexe F	(informative) Utilisation de la chaleur à des températures supérieures à 60 °C	88
Annexe G	(informative) Régulation de la température aller	89
Annexe H	(informative) Circuits hydrauliques de la distribution de froid.....	92
Annexe I	(informative) Post-refroidisseurs	97
Annexe J	(informative) Fluide frigorigène.....	101
Annexe K	(informative) Modèle d'étude de la viabilité économique.....	105
Annexe L	(informative) Publications	110
Annexe M	(informative) Index des termes.....	113

AVANT-PROPOS

Le besoin de refroidissement de bâtiments deviendra de plus en plus important à l'avenir. Les périodes prolongées de fortes chaleurs de plus en plus fréquentes ainsi que les températures plus élevées pendant la nuit qui réduisent le potentiel d'un refroidissement nocturne naturel ne sont que l'une des raisons de cette évolution. Une part élevée de surfaces vitrées dans l'enveloppe du bâtiment, des constructions très bien isolées et une multitude d'apports de chaleur internes augmentent encore le besoin de refroidissement. La création d'un climat intérieur agréable est et restera toujours une mission essentielle de la technique du bâtiment. Même en plein été, les locaux doivent être maintenus à une température agréable. Des installations de refroidissement modernes et efficaces sur le plan énergétique peuvent apporter une contribution significative si elles sont correctement planifiées, construites et exploitées.

C'est en été que les besoins en énergie des installations de refroidissement sont les plus élevés. Ceux-ci coïncident idéalement avec le rendement maximal d'installations photovoltaïques. De ce fait, l'association des systèmes offre de bonnes conditions préalables pour atteindre les objectifs zéro net de la SIA en matière d'émissions de gaz à effet de serre.

Qu'il s'agisse de machines frigorifiques ou de pompes à chaleur, les systèmes évoluent ensemble. La priorité est mise parfois sur le froid, parfois sur la chaleur, et très souvent sur les deux en même temps. La présente norme utilise par conséquent la notion de machine thermofrigorifique. Le groupe de travail SIA 384/4 considère le système du point de vue du froid, tout en attachant une grande importance à l'utilisation systématique et efficace de la chaleur générée lors du refroidissement. Celle-ci est aujourd'hui encore qualifiée d'une manière un peu dédaigneuse de «chaleur perdue» par de nombreux planificateurs et planificatrices. Avec une machine thermofrigorifique, nous adoptons l'approche selon laquelle la chaleur issue du processus de refroidissement possède une valeur qu'il convient d'exploiter. C'est pourquoi nous parlons systématiquement de «chaleur». Nous n'oublions pas non plus qu'il existe, en particulier dans les immeubles de bureaux et les bâtiments administratifs, de nombreuses applications avec un excédent de chaleur non exploitable. Il est essentiel que la chaleur soit évacuée de manière efficace dans ces situations.

De nombreux facteurs ont un impact sur l'efficacité énergétique et le respect de l'environnement d'une installation frigorifique. L'accent est mis sur le système dans son ensemble: du local «refroidi» au consommateur de chaleur et au post-refroidisseur, en passant par la machine thermofrigorifique. Cette vision globale offre la possibilité de coupler intelligemment le refroidissement et le chauffage, et de réduire ainsi la consommation totale d'énergie. Car les systèmes tels que les machines thermofrigorifiques, qui utilisent les deux côtés de l'énergie (froid et chaleur), constituent toujours la solution la plus efficace.

Ce ne sont pas les composants individuels hautement efficaces (tels que les machines thermofrigorifiques) qui sont déterminants pour l'efficacité énergétique, mais le système de refroidissement en tant qu'unité. L'efficacité énergétique de l'installation est largement déterminée par différents facteurs d'influence, tels que des températures d'eau froide élevées, une utilisation systématique de la chaleur, une régulation intelligente et une compensation systématique de la température de post-refroidissement selon la température extérieure.

La norme SIA 384/4 décrit les conditions cadres normatives pour la planification, la construction, l'exploitation et le démantèlement d'installations de refroidissement efficaces sur le plan énergétique, écologiques et fiables. Elle prend en compte les normes indiquées sous le point 0.3 et remplace les explications fournies au sujet des installations de climatisation dans la norme SIA 382/1:2014 *Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises*.

La norme SIA 384/4 est un instrument permettant de fabriquer des installations de refroidissement efficaces, respectueuses du climat, solides et simples à utiliser. Si elle est utilisée activement, nous nous rapprocherons alors considérablement de notre vision d'un système de refroidissement durable.

Groupe de travail SIA 384/4

0 CHAMP D'APPLICATION

0.1 Délimitation

0.1.1 Généralités

- 0.1.1.1 La présente norme définit les exigences de planification et de réalisation d'installations frigorifiques pour la climatisation de locaux (refroidissement de confort) avec des apports de chaleur internes correspondants (par ex. locaux de serveurs).
- 0.1.1.2 Cette norme concerne:
- le refroidissement de locaux au moyen d'installations recourant à des liquides (eau et mélanges d'antigel) dans le domaine de la climatisation de confort.
 - l'utilisation de la chaleur de la machine thermofrigorifique, dans la mesure où elle peut être utilisée pour le chauffage, la production d'eau chaude, la régénération des sondes géothermiques ou pour d'autres processus.
 - la planification d'installations pour la production, la distribution et le stockage de froid (accumulateurs techniques) ainsi que l'absorption et l'émission de chaleur, y compris les dispositifs MCR correspondants dans les bâtiments.
- 0.1.1.3 Ne sont pas objets de la norme:
- la planification d'éléments d'installation qui ne servent pas au refroidissement des locaux,
 - les installations frigorifiques pour la climatisation de locaux dans des bâtiments industriels et commerciaux (par ex. refroidissement de locaux de production, centres de calcul et de données) qui ne servent pas principalement au confort,
 - les installations frigorifiques pour des processus commerciaux ou industriels (froid pour les processus, les produits alimentaires et les commerces),
 - les systèmes de circuit mixte (systèmes de récupération de chaleur régénératifs dans les installations de conditionnement d'air),
 - les machines thermofrigorifiques fonctionnant au gaz,
 - les machines frigorifiques à absorption et à adsorption fonctionnant avec de la chaleur,
 - la planification de systèmes de conduits, dans lesquels le fluide frigorigène se trouve hors de la machine thermofrigorifique,
 - les réseaux de froid et d'énergie (conduites de froid à distance),
 - la planification de systèmes de geo-cooling,
 - la planification de systèmes d'aqua-cooling.

0.1.2 Cas spéciaux

- 0.1.2.1 Systèmes d'évaporation directe (installations frigorifiques split, installations compactes d'évaporateur à détente directe, installations avec débit variable de fluide frigorigène appelées installations à débit de réfrigérant variable): la chaleur est directement évacuée des locaux avec le fluide frigorigène et non par le biais d'un circuit séparé contenant de l'eau ou un mélange d'antigel.
- 0.1.2.2 Systèmes de condensation directe avec conduite de fluide frigorigène: la chaleur est évacuée de la machine thermofrigorifique avec le fluide frigorigène et non par le biais d'un circuit séparé contenant de l'eau ou un mélange d'antigel.
- 0.1.2.3 La présente norme s'applique aux nouvelles installations. Si une installation existante est remplacée ou agrandie, ou si des éléments de l'installation sont remplacés, les nouveaux éléments de l'installation doivent respecter les exigences posées aux nouvelles installations. Les exceptions sont uniquement possibles si les exigences posées aux nouvelles installations ne sont pas réalisables sur le plan technique ou opérationnel, ou si l'augmentation des coûts du cycle de vie est supérieure à 5% (voir annexe K).

- 0.1.2.4 Par analogie, la norme s'applique également aux installations de refroidissement pour plusieurs bâtiments.
- 0.1.2.5 La présente norme ne définit aucune exigence pour les produits.
- 0.1.2.6 Il est fait mention de l'exploitation et de la maintenance d'installations de refroidissement. Ces sujets sont traités dans leur intégralité dans les documents mentionnés au chapitre 13.

0.2 Conditions générales pour la construction

Les conditions générales pour la construction (CGC) concernant le contenu de la présente norme sont indiquées dans la norme SIA 118/380 enthalten.

0.3 Références normatives

Le texte de la présente norme fait référence aux publications suivantes, dont les dispositions s'appliquent intégralement ou en partie selon ce qu'indique le renvoi. Les références non datées se rapportent à la dernière édition de la publication (pour les SN EN y compris les amendements), les références datées se rapportent à l'édition correspondante.

- 0.3.1 **Publications SIA**
- | | |
|--------------------------------|--|
| Norme SIA 118 | Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction |
| Norme SIA 118/380 | Conditions générales relatives aux installations du bâtiment |
| Norme SIA 180:2014 | Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments |
| Norme SIA 181 | Protection contre le bruit dans le bâtiment |
| Norme SIA 380/2 | Calculs énergétiques des bâtiments - Méthode dynamique pour la détermination du besoin, puissance requise et besoins d'énergie |
| Norme SIA 382/1:2014 | Installations de ventilation et de climatisation - Bases générales et performances requises (en révision) |
| Norme SIA 384/1:2022 | Installations de chauffage dans les bâtiments - Bases générales et performances requises |
| Norme SIA 384/6 | Sondes géothermiques |
| Norme SIA 384/7 | Utilisation de la chaleur de l'eau souterraine |
| Norme SIA 480 | Calcul de rentabilité pour les investissements dans le bâtiment |
| Cahier technique SIA 2024 | Données d'utilisation des locaux pour l'énergie et les installations du bâtiment |
| Cahier technique SIA 2028:2010 | Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment |
| Cahier technique SIA 2046 | Tests intégraux des systèmes des installations du bâtiment |
| Cahier technique SIA 2048 | Optimisation énergétique de l'exploitation |
- 0.3.2 **Normes européennes**
- | | |
|-------------|---|
| SN EN 378 | Systèmes frigorifiques et pompes à chaleur - Exigences de sécurité et d'environnement |
| SN EN 378-1 | Systèmes frigorifiques et pompes à chaleur - Exigences de sécurité et d'environnement - Partie 1: Exigences de base, définitions, classification et critères de choix |
| SN EN 378-2 | Systèmes frigorifiques et pompes à chaleur - Exigences de sécurité et d'environnement - Partie 2: Conception, construction, essais, marquage et documentation |

SN EN 378-3	Systèmes frigorifiques et pompes à chaleur - Exigences de sécurité et d'environnement - Partie 3: Installation in situ et protection des personnes
SN EN 378-4	Systèmes frigorifiques et pompes à chaleur - Exigences de sécurité et d'environnement - Partie 4: Fonctionnement, maintenance, réparation et récupération
SN EN 1434-1	Compteurs d'énergie thermique - Partie 1: Prescriptions générales
SN EN 6946	Composants et parois de bâtiments - Résistance thermique et coefficient de transmission thermique - Méthodes de calcul
SN EN 12170	Systèmes de chauffage dans les bâtiments - Instructions de conduite, maintenance et utilisation - Systèmes de chauffage exigeant un opérateur professionnel
SN EN 12171	Systèmes de chauffage dans les bâtiments - Instructions de conduite, maintenance et utilisation - Systèmes de chauffage ne requérant pas pour leur conduite l'intervention d'un professionnel
SN EN 14336:2004	Systèmes de chauffage dans les bâtiments - Installation et commissionnement de systèmes de chauffage à eau
SN EN 14825	Climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur avec compresseur entraîné par moteur électrique pour le chauffage et le refroidissement des locaux, le froid commercial et industriel - Essais et détermination des caractéristiques à charge partielle et calcul de performance saisonnière
SN EN 15232-1	Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement
SN EN 16798-1	Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 1: Données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique

0.4 Dérogations

Des dérogations à la présente norme sont admises pour autant qu'elles soient suffisamment fondées sur des données théoriques ou sur des essais, ou qu'elles soient justifiées par de nouveaux développements ou de nouvelles connaissances.

0.5 Remarques concernant l'application de la norme

- 0.5.1 Cette norme est destinée aux planificateurs et concepteurs d'installations de refroidissement, aux directeurs généraux de projet, aux architectes, aux représentants des maîtres d'ouvrage et aux autorités délivrant les autorisations.
- 0.5.2 Il est recommandé de fixer par écrit tout écart éventuel par rapport à la présente norme (convention d'utilisation).
- 0.5.3 La présente norme devrait être appliquée par tous les intervenants dès le début du projet. Il est en particulier recommandé d'ouvrir très tôt les négociations avec les autorités compétentes.

1 TERMINOLOGIE

1.1 Termes et définitions

Pour l'application de la présente norme / du présent cahier technique on utilisera les termes définis ci-après. Ces termes sont répertoriés par ordre alphabétique en deux langues à l'annexe M.

1.1.1 Froid

1.1.1.1 Installation frigorifique

Une installation frigorifique extrait la chaleur de biens ou de l'air ambiant. Les installations frigorifiques sont utilisées dans différents domaines d'application, et cette désignation est un terme générique pour les installations de climatisation, ainsi que les installations frigorifiques commerciales et industrielles.

Remarque: dans la présente norme qui concerne exclusivement la climatisation de locaux (refroidissement de confort), les installations de refroidissement sont également appelées installations frigorifiques (simplification linguistique).

1.1.1.2 Installation de refroidissement

Les installations de refroidissement sont utilisées pour la climatisation de locaux (refroidissement de confort). Une installation de refroidissement comprend tous les équipements techniques nécessaires au refroidissement de locaux:

- machine thermofrigorifique,
- accumulateur de froid,
- système de distribution de froid,
- système d'émission de froid,
- accumulateur de chaleur,
- post-refroidisseur,
- dispositifs auxiliaires (pompes, ventilateurs, etc.).

1.1.1.3 Machine thermofrigorifique

La machine frigorifique et la pompe à chaleur forment de plus en plus souvent un ensemble. Une machine thermofrigorifique se concentre sur la production de froid. Une machine thermofrigorifique utilise par ailleurs autant que possible la chaleur produite lors du refroidissement, au lieu de la dissiper dans l'environnement par le biais du post-refroidisseur.

Remarque: la machine thermofrigorifique est décrite sous [48].

1.1.1.4 Machine frigorifique

Une machine frigorifique n'exploite pas la chaleur, mais la dissipe.

1.1.1.5 Refroidissement (climatisation)

Équipements techniques qui servent à refroidir des locaux (conditionnement de locaux).

1.1.1.6 Installation de climatisation

Association d'appareils permettant d'approvisionner un local en air climatisé.

1.1.1.7 Distribution du froid

Éléments d'une installation frigorifique assurant la distribution de froid entre, d'une part, la production de froid ou les sources de froid ou encore le stockage de froid et, d'autre part, l'émission de froid.

1.1.1.8 Système d'émission de froid

Élément d'une installation de refroidissement assurant l'absorption de la chaleur d'un local.

1.1.1.9 Système d'éléments de construction thermoactifs (ECTA)

Des éléments de la structure du bâtiment sont gérés activement par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur. L'énergie est principalement stockée dans les plafonds et les sols. Les ECTA sont utilisés pour chauffer ou refroidir des locaux.

1.1.1.10 Accumulateur de froid

Accumulateur d'énergie thermique (froid).

1.1.1.11 Fluide frigorigène

Fluide utilisé pour le transfert de chaleur dans une installation frigorifique, qui absorbe la chaleur à basse température et basse pression du fluide et la

rejette à haute température et haute pression du fluide, ce qui implique généralement un changement de phase de ce fluide.

- | | | |
|------------------------------|---|--|
| 1.1.1.12 | Récupérateur de chaleur | Système permettant de transférer la chaleur d'un fluide à un autre. |
| 1.1.1.13 | Utilisation de la chaleur
(utilisation de la chaleur perdue) | <p>Utilisation de la chaleur d'un système (machine thermofrigorifique) pour un autre système.</p> <p><i>Remarque 1:</i> la chaleur extraite des locaux au moyen de la machine thermofrigorifique est aujourd'hui encore fréquemment qualifiée de «chaleur perdue». La chaleur provenant du processus de refroidissement possède toujours une valeur qu'il convient d'exploiter. C'est pour cette raison que les désignations chaleur et utilisation de la chaleur sont systématiquement utilisées dans cette norme [48].</p> <p><i>Remarque 2:</i> on parle d'utilisation de la chaleur lorsque la chaleur utilisable générée dans un système est réutilisée dans un autre système et, le cas échéant, avec un plus grand décalage dans le temps. La chaleur pouvant être fournie et les besoins de chaleur doivent le cas échéant être ajustés au moyen d'un accumulateur de chaleur.</p> |
| 1.1.1.14 | Régulation de local individuelle | Processus, dans le cadre duquel chaque local est équipé d'une régulation individuelle de l'émission de froid qui réduit cette dernière lorsque la charge de refroidissement diminue suite à des influences spécifiques au local (moins d'apports de chaleur, valeur de consigne plus élevée de la température ambiante). |
| 1.1.1.15 | Régulation de la température aller en fonction de la température extérieure | Régulation de la température aller en fonction d'une valeur de consigne déterminée par la température extérieure. |
| 1.1.1.16 | Chaîne de sécurité | On appelle chaîne de sécurité les dispositifs de sécurité mécaniques d'une machine thermofrigorifique qui sont montés en série directement dans le circuit de commande. D'une part, la machine thermofrigorifique ne doit démarrer que lorsque tous les dispositifs de sécurité sont activés et que la chaîne de sécurité est ainsi «fermée». D'autre part, la machine thermofrigorifique doit être immédiatement arrêtée lorsqu'un des dispositifs de sécurité est déclenché (chaîne de sécurité «interrompue»). |
| 1.1.1.17 | Défaut de circulation | En cas de découplage insuffisant de circuits hydrauliques (par ex. de circuits de réfrigération) du fait de circulations gravitationnelles involontaires ou du fait d'organes d'arrêt non étanches, un circuit hydraulique peut influencer l'autre. Le fluide s'écoule alors dans le sens opposé à celui prévu ou dans un sens non souhaité. La fonction prévue de l'installation est alors affectée. |
| 1.1.1.18 | Ventilation d'urgence mécanique | <p>Ventilation autonome du local des machines qui évacue le fluide frigorigène écoulé de manière sûre vers l'extérieur et protège ainsi les personnes et les installations.</p> <p>En langage familier, la ventilation d'urgence mécanique est également appelée «ventilation d'avarie» ou «ventilation tempête».</p> |
| 1.1.1.19 | Séparateur hydraulique | Avec un séparateur hydraulique, le circuit générateur est fluidiquement (hydrauliquement) découplé du circuit consommateur (par ex. au moyen d'un accumulateur). Ainsi, les pompes ne s'influencent pas mutuellement dans le circuit générateur ou dans le circuit consommateur avec leurs pressions différentes et avec leurs débits différents. |
| 1.1.2 Refroidissement | | |
| 1.1.2.1 | Refroidissement actif | <p>Refroidissement d'un local ou d'un bâtiment avec des moyens auxiliaires mécaniques.</p> <p><i>Remarque 1:</i> est appelé «refroidissement mécanique» selon la norme SN EN 16798-1.</p> |

		<i>Remarque 2:</i> regroupe le refroidissement de l'air fourni, des ventilo-convecteurs, des surfaces refroidies, etc. <i>Remarque 3:</i> l'ouverture des fenêtres pendant la journée et la nuit ou un approvisionnement mécanique en air extérieur froid ne sont pas considérés comme étant un refroidissement actif.
1.1.2.2	Refroidissement passif	Les systèmes de refroidissement passifs sont des dispositions constructives contribuant, sans entraînement mécanique, au refroidissement du bâtiment. <i>Remarque:</i> en font en particulier partie l'aération naturelle, l'ombrage ou des mesures d'amélioration du microclimat.
1.1.2.3	Natural-cooling (refroidissement naturel)	Refroidissement par des moyens environnementaux en exploitant un puits de chaleur naturel (à savoir sans la machine frigorifique). <i>Remarque:</i> le natural-cooling comprend le free-cooling, l'aqua-cooling et le geo-cooling.
1.1.2.4	Free-cooling (refroidissement gratuit)	Dans le cas du free-cooling, l'air extérieur est utilisé pour évacuer la chaleur (refroidissement). L'air extérieur sert de puits énergétique.
1.1.2.5	Aqua-cooling (refroidissement avec des eaux de surface)	Dans le cas de l'aqua-cooling, on utilise les eaux de surface (rivière ou lac) pour évacuer la chaleur (refroidissement). Les eaux de surface servent de puits énergétique.
1.1.2.6	Geo-cooling (refroidissement géothermique)	Dans le cas du geo-cooling, on utilise la terre ou la nappe phréatique pour évacuer la chaleur (refroidissement). La terre ou la nappe phréatique sert de puits énergétique.
1.1.3	Climat extérieur	
1.1.3.1	Climat extérieur	Données de mesure statistiques concernant la température extérieure, l'humidité de l'air et le rayonnement solaire pour une station climatique spécifique.
1.1.3.2	Température de l'air extérieur	Données climatiques selon SIA 2028 qui doivent être utilisées pour le dimensionnement des composants du système.
1.1.3.3	Température extérieure	Température de bulbe sec de l'air extérieur, mesurée sans influence du rayonnement et hors des influences locales sur la température. La température de l'air extérieur de MétéoSuisse (SIA 2028) est mesurée avec un thermomètre sec ventilé mécaniquement disposé 2 m au-dessus du sol en plein champ (pré fauché).
1.1.4	Climat intérieur, confort thermique	
1.1.4.1	Zone de séjour	Zone à l'intérieur d'un local, dans laquelle les utilisateurs séjournent en premier lieu. Les exigences en matière de confort sont valables pour la totalité de la zone de séjour.
1.1.4.2	Température de l'air	Température de l'air à l'endroit considéré.
1.1.4.3	Température de l'air intérieur	Température de bulbe sec de l'air intérieur à l'endroit considéré dans le local.
1.1.4.4	Humidité relative de l'air	Rapport entre la pression de vapeur effective et la pression de vapeur saturante à la même température.
1.1.4.5	Humidité de l'air intérieur	Humidité de l'air intérieur. <i>Remarque:</i> elle peut être exprimée sous forme d'humidité relative en %, d'humidité spécifique en g/kg ou d'humidité absolue en g/m³.
1.1.4.6	Température ambiante	Température de l'environnement intérieur. Approximativement égale à la moyenne arithmétique de la température de l'air intérieur et de la température radiante moyenne du local.

1.1.4.7	Température du point de rosée	Température à laquelle l'air est refroidi afin d'atteindre l'état de saturation tout en maintenant une teneur en vapeur d'eau constante.
1.1.5	États de fonctionnement	
1.1.5.1	Pleine charge	État de fonctionnement pour la mise à disposition de la puissance de refroidissement utile maximale dans des conditions données. <i>Remarque 1:</i> la puissance utile maximale est également appelée «puissance nominale». <i>Remarque 2:</i> correspond à la charge permettant un fonctionnement adapté aux dimensions de la machine (VDI 4700 feuille1 [46]).
1.1.5.2	Charge partielle	État de fonctionnement, dans lequel l'exigence de puissance effective est inférieure à la puissance au point de dimensionnement (valeur maximale). <i>Remarque 1:</i> les points de fonctionnement avec des températures d'eau froide élevées sont également désignés comme des états de charge partielle. <i>Remarque 2:</i> la régulation de la puissance de l'installation frigorifique définit jusqu'à quelle puissance minimale l'installation frigorifique peut fonctionner en charge partielle (par ex. jusqu'à 30%).
1.1.5.3	Charge réduite	État de fonctionnement, dans lequel l'exigence de puissance effective est nettement inférieure à la puissance au point de dimensionnement (valeur maximale). <i>Remarque:</i> en charge réduite, la régulation de puissance de l'installation frigorifique ne permet plus de réduire la puissance au niveau nécessaire (par ex., si seulement 5% de la puissance fournie par l'installation frigorifique au point de dimensionnement sont nécessaires).
1.1.5.4	Valeur de dimensionnement	La valeur de dimensionnement concerne les états de la puissance maximale pouvant être fournie à la température la plus basse requise.
1.1.5.5	Heures de disponibilité	La disponibilité correspond à l'état de fonctionnement d'une machine ou d'un appareil dans lequel la machine ou l'appareil n'est pas arrêté. <i>Remarque:</i> la machine ou l'appareil sont en disponibilité lorsqu'ils sont en marche ou opérationnels (standby).
1.1.6	Phases de construction, contrôles et tests	
1.1.6.1	Nouvelle construction Installation frigorifique	Installation frigorifique devant faire l'objet d'une nouvelle construction. Les nouvelles constructions au sens de la présente norme comprennent également des agrandissements d'installations frigorifiques existantes ainsi que des transformations de type nouvelles constructions, etc.
1.1.6.2	Transformation Installation frigorifique	Est considérée comme transformation, au sens de la présente norme, la remise à neuf d'une installation frigorifique ou de certaines parties de cette dernière, s'il s'agit en fait de modifications effectuées sur celles-ci et pas uniquement de travaux de maintenance et de remise en état (remises à niveau, réparations).
1.1.6.3	Rénovation Installation frigorifique	Est considérée comme rénovation, au sens de la présente norme, la remise à neuf de l'installation frigorifique ou de certaines parties de cette dernière, de façon à remettre l'installation ou certaines parties de l'installation, par ex. la machine thermofrigorifique, en état de fonctionnement.
1.1.6.4	Contrôle de fonctionnement	Vérification du bon fonctionnement de composants ou de groupes de composants.
1.1.6.5	Contrôle de l'installation	Vérification ayant pour but d'établir la conformité de l'installation. Le contrôle porte entre autres sur l'accessibilité, la protection incendie, la protection contre le bruit.

1.1.6.6	Mise en service	Ajustement et contrôle des fonctionnements définis d'une installation, y compris la mise en place des fonctions de commande, réglage, maniement et gestion, afin d'atteindre et d'optimiser les états de marche prévus.
1.1.6.7	Mise en exploitation	Début de l'exploitation d'une installation en vue de son utilisation.
1.1.6.8	Tests intégrés	Procédures d'essai pour le contrôle des fonctions et des dépendances au sein d'un corps de métier.
1.1.6.9	Test intégraux	Les tests intégraux servent à contrôler des composants pilotés de façon automatique et l'interaction globale entre corps de métier, installations et systèmes. Ils mettent en évidence le fonctionnement correct sur un plan global des systèmes et des installations faisant partie des systèmes de technique du bâtiment, ainsi que de toutes les interfaces, et ils permettent de garantir le bon fonctionnement du système dans sa globalité, que ce soit en temps normal ou en cas d'incident.
1.1.6.10	Maintenance	Une maintenance comprend la surveillance, l'inspection, l'entretien et la remise en état d'une installation frigorifique.
1.1.6.11	Entretien	Un entretien (ou service) permet de préserver l'état de consigne de l'installation frigorifique. Des composants usés sont également remplacés à cette occasion. L'installation est arrêtée pour effectuer l'entretien.
1.1.6.12	Inspection	Constatation de l'état de l'ouvrage par des investigations systématiques, en général visuelles; appréciation portée sur lui.
1.1.6.13	Optimisation énergétique de l'exploitation (OéE)	L'optimisation énergétique de l'exploitation (OéE) démontre des mesures pour l'augmentation de l'efficacité énergétique qui ne produisent pas de réduction sensible du confort pour les utilisateurs du bâtiment, qui présentent une courte durée d'amortissement (en règle générale moins de 2 ans), qui sont bon marché et qui peuvent être réalisées en règle générale sans processus de planification ordinaire. L'OéE présente une procédure par étapes avec planification structurée et avec réalisation de mesures individuelles. Le résultat est la somme des mesures réussies et réalisées de manière permanente.
1.1.6.14	Prescriptions en matière d'énergie	Les prescriptions en matière d'énergie regroupent toutes les règles (lois et ordonnances) des communes, des cantons et de la Confédération dans le domaine de l'énergie.
1.1.7	Émission de chaleur	
1.1.7.1	Générateur de chaleur	Composants ou dispositif d'une installation de chauffage assurant la transformation et la fourniture de la chaleur à l'accumulateur de chaleur ou au système de distribution de chaleur.
1.1.7.2	Accumulateur de chaleur	Accumulateur d'énergie thermique (chaleur).
1.1.7.3	Système de distribution de chaleur	Composants d'une installation de chauffage assurant la distribution de la chaleur entre le générateur de chaleur ou l'accumulateur de chaleur et le système d'émission de chaleur ou tout système connecté.
1.1.7.4	Température aller	Température du fluide caloporteur qui s'écoule de la production de chaleur vers les utilisateurs de chaleur (surfaces chauffantes, chauffe-eau, systèmes connectés).
1.1.7.5	Température de retour	Température régnant dans le fluide caloporteur lorsqu'il circule entre les consommateurs de chaleur (surfaces de chauffe, système de préparation d'eau chaude, systèmes connectés) et le générateur de chaleur.

1.1.8 Paramètres

1.1.8.1	Besoins de froid	Chaleur à extraire du local refroidi pendant la période de calcul pour maintenir la température ambiante en dessous de la valeur de consigne supérieure.
1.1.8.2	Puissance thermique	Quantité de chaleur transmise à, ou fournie par un système, par unité de temps.
1.1.8.3	Puissance thermique de chauffage requise	Puissance thermique de chauffage qui doit être amenée vers un local pour maintenir la valeur de consigne supérieure de la température ambiante pendant une heure donnée de l'année.
1.1.8.4	Puissance thermique de refroidissement requise	Puissance thermique qui doit être extraite du local refroidi pour maintenir la valeur de consigne supérieure de la température ambiante pendant une heure donnée de l'année.
1.1.8.5	Puissance du refroidisseur	Puissance thermique extraite du fluide de refroidissement par une machine thermofrigorifique ou par une machine frigorifique (capacité de refroidissement).
1.1.8.6	Puissance spécifique de la pompe	Rapport entre la puissance électrique effective d'une pompe et son débit volumique.

1.1.9 Désignations

Figure 1 Désignations de composants et de flux énergétiques

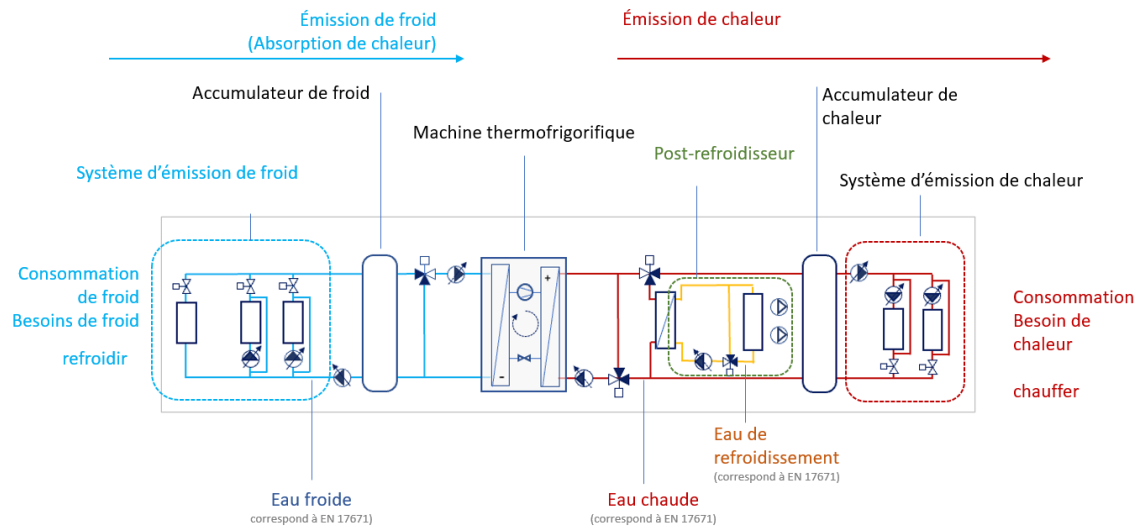
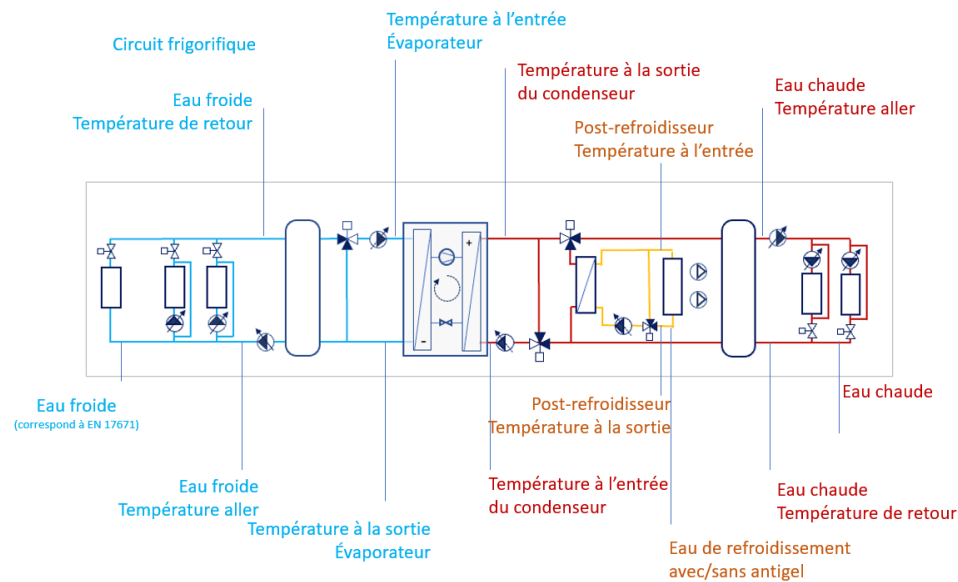


Figure 2 Désignations de fluides et de températures



1.2 Symboles, termes et unités

Symbole	Terme	Unité
AC	coûts d'amortissement	CHF
c	capacité thermique	$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
COP	coefficient of performance	–
EC	coûts de l'électricité	CHF
EER	Energy Efficiency Ratio = taux d'efficacité énergétique (correspond à COP_c)	–
EP	prix de l'énergie	Rp./kWh
f	facteur / facteur de correction (général)	–, %
HR	rendement calorifique (monétaire)	CHF
i	taux d'intérêt calculé	%
I	charge d'intérêts	CHF
IC	coûts d'investissement	CHF
LCC	coûts du cycle de vie	CHF
MC	coûts de maintenance	CHF
p	pression (général)	Pa, bar
P	puissance électrique (général)	W, kW
q	débit volumique	m^3/h
Q	énergie, chaleur, consommation d'électricité (général)	Wh, kWh
$SEER$	Seasonal Energy Efficiency Ratio	–
t	temps, durée (général)	année, h, min, s
V	volume	m^3
Δ (Delta)	différence	–
$\Delta\theta$	différence de température	K
η (Eta)	Rendement (général)	–, %
θ (Theta)	température (général)	$^{\circ}\text{C}$
λ (Lambda)	conductivité thermique	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
ρ (Rho)	masse volumique (général)	kg/m^3
Φ (Phi)	puissance (puissance thermique - chaleur, froid)	kW

1.3 Indices

Indices	Français	Allemand	Anglais
0	base	Basis	reference
an	annuel	Jahr	annually
C	Froid	Kälte	cold
comp	compresseur	Verdichter	compressor
cond	condenseur	Verflüssiger	condenser
cons	consommateur	Verbraucher	consumer
cpx	complexité	Komplexität	complexity
cw	eau froide	Kaltwasser	cold water
d	jour	Tag	day
deh	désurchauffeur	Enthitzer	desuperheater
el	électricité	Elektrizität, Strom	electricity
ela	appareil électrique	Elektrogerät	electrical appliance
eva	évaporateur	Verdampfer	evaporator
H	chaleur	Wärme	Heat
high	élevée	hoch	high
in	entrée	Eintritt, Eingang	input
li	valeur limite	Grenzwert	limit value
lip	gain de puissance	Leistungssprung	leap in performance
low	faible	tief	low
max	maximum, maximal	Maximum, maximal	maximum
min	minimum, minimal	Minimum, minimal	minimal
mod	type de fonctionnement	Betriebsart	operating mode
op	mode actif	Betrieb	operation
out	sortie	Austritt, Ausgang	output
r	production de froid	Kälteerzeugung	refrigeration
R	fluide frigorigène	Kältemittel	refrigerant
S	site	Standort	location
sct	temps de charge de l'accumulateur	Speicherladezeit	storage charging time
soc	constante de temps d'enclenchement	Zuschalt-Zeitkonstante	switch-on time constant
sp	spécifique	spezifisch	specific
sto	stockage	Speicher	storage
sys	installation	Anlage	system
tot	total	total, gesamt	total
use	utilisation	Nutzung	use

1.4 Abréviations

CCP	Courbe caractéristique de la pompe
CO ₂	Dioxyde de carbone
COP	Coefficient of performance
DN	Diamètre Nominal, diamètre intérieur en mm
EER	Energy Efficiency Ratio
FM	Facility Management
GTB	Gestion technique du bâtiment
GWP	Potentiel d'effet de serre (en: <i>Global Warming Potential</i>)
HFO	Hydrofluoroléfine
LCC	Coûts du cycle de vie (en: <i>Life-Cycle-Costing</i>)
MCR	Technologie de mesure, de contrôle et de régulation
MTF	Machine thermofrigorifique
NH ₃	Ammoniac
OéE	Optimisation énergétique de l'exploitation
PR	Post-refroidisseur
SEER	Seasonal Energy Performance Ration
TEWI	Total Equivalent Warming Impact
TABS	Système d'éléments de construction thermoactifs (en: <i>Thermally Activated Building System</i>)
VRF	flux variable de fluide frigorigène (en: <i>Variable Refrigerant Flow</i>)
VRV	volume variable de fluide frigorigène (en: <i>Variable Refrigerant Volume</i>)

2 EXIGENCES

2.1 Exigences relatives à la construction

2.1.1 Généralités

- 2.1.1.1 Les exigences de protection thermique et de protection contre l'humidité selon SIA 180 doivent être respectées lors de nouvelles constructions et de transformations de bâtiments.
- 2.1.1.2 L'installation frigorifique devrait présenter une grande flexibilité d'utilisation. En règle générale, l'installation frigorifique ne nécessite aucune transformation en cas de changements d'utilisation qui ne sont pas liés à des modifications de construction. La flexibilité d'utilisation exigée par le mandant doit être consignée par écrit dans une convention d'utilisation.

2.2 Conditions extérieures

- 2.2.1 Le dimensionnement est réalisé avec les données climatiques selon SIA 2028.
- 2.2.2 Si les conditions extérieures se situent à l'intérieur de la plage de dimensionnement de l'installation frigorifique, les exigences en matière de confort dans les locaux doivent être respectées (voir 2.3).
- 2.2.3 Si les conditions extérieures se situent en dehors de la plage de dimensionnement de l'installation frigorifique, il n'est pas nécessaire de respecter les exigences envers la température de l'air intérieur dans les locaux.
- 2.2.4 Les exigences du maître d'ouvrage envers la température de l'air intérieur qui se situent en dehors des conditions extérieures doivent être consignées dans une convention d'utilisation séparée. Ces exigences doivent impérativement respecter les prescriptions correspondantes en matière d'énergie.

2.3 Confort

2.3.1 Généralités

Les bases générales du confort thermique, de l'humidité de l'air intérieur et de la qualité de l'air intérieur sont définies dans SIA 180:2014, chiffre 2.3. Les exigences acoustiques figurent dans SIA 181.

2.3.2 Zone de séjour

- 2.3.2.1 La définition de la zone de séjour dépend de l'utilisation du local. Il convient de définir la zone de séjour avec le maître d'ouvrage dans le cadre de la convention d'utilisation selon SIA 180.
- 2.3.2.2 Sans accord spécifique à l'objet, on applique les définitions de la zone de séjour selon SIA 180:2014, chiffre 2.1.2.
- 2.3.2.3 Les zones de passage selon SIA 180 ne font pas partie de la zone de séjour.

2.3.3 Température de l'air intérieur

- 2.3.3.1 Les exigences relatives à la température de l'air intérieur sont définies dans SIA 180 et dans SIA 2024. Les exigences spécifiques à l'objet peuvent être définies dans une convention d'utilisation.
- 2.3.3.2 Concernant le dimensionnement de l'installation frigorifique et les conditions de garantie, on applique les températures de l'air intérieur convenues pendant le temps d'utilisation convenu. Pour de plus amples informations, voir 2.4.

2.3.4 Vitesse de l'air intérieur

Concernant la vitesse de l'air intérieur, on applique les exigences selon SIA 180.

2.3.5 Humidité de l'air intérieur

Concernant l'humidité de l'air intérieur, on applique les exigences selon SIA 180.

2.4 Définition de l'utilisation

2.4.1 En l'absence d'une définition d'utilisation des locaux spécifique à l'objet, il est possible d'appliquer les valeurs standard de SIA 2024 pour la planification. Elles constituent une bonne base pour un premier dimensionnement. Les informations concernant l'utilisation des locaux doivent ensuite être corrigées avec le maître d'ouvrage et ajustées par rapport aux besoins spécifiques à l'objet. Les informations spécifiques à l'objet doivent être consignées dans une convention d'utilisation. Les informations spécifiques à l'objet doivent également respecter les prescriptions en matière d'énergie.

2.4.2 Les locaux qui sont conditionnés doivent être nommés et leur utilisation doit être définie.

2.4.3 Les conditions cadres et exigences suivantes relatives aux locaux doivent être définies:

- | | |
|--|---|
| - Protection contre les apports de chaleur externes | - mesures de réduction du rayonnement solaire |
| - Température ambiante | - mesures contre les températures extérieures élevées |
| | - température ambiante de consigne |
| | - fluctuations temporelles admises |
| | - différences admises entre les locaux au sein d'une unité d'utilisation |
| - Confort thermique dans la zone de séjour dans le cas | - d'apports de chaleur externe élevée (rayonnement solaire, températures extérieures élevées) |
| - Utilisation | - conditions de dimensionnement selon SIA 180:2014, chiffre 2.1.2. |
| | - horaires |
| | - occupation |
| | - sources internes de chaleur |
| - Revêtement de surface | - habitudes d'aération |
| | - résistance du revêtement pour les systèmes de refroidissement de composants et de surfaces, |
| | - coefficient de pénétration de la chaleur |
| - Possibilités de réglages pour les utilisateurs | - quels paramètres (température, humidité, planning, etc.) les utilisateurs peuvent-ils influencer et dans quels locaux |
| - Commande | - exigences en matière de convivialité |
| | - commande de la température ambiante en fonction des besoins |

2.4.4 L'utilisation prévue et les propriétés thermiques du local sont déterminantes pour le choix du système d'émission de froid.

2.5 Besoin énergétique

2.5.1 Un concept énergétique global supérieur établi avant la planification de l'installation frigorifique guide le projecteur en technique du bâtiment, l'architecte et le maître d'ouvrage lors du choix du système et de la planification de l'installation frigorifique. Il permet de garantir que les exigences du législateur en termes de durabilité et d'utilisation d'énergies renouvelables soient remplies et qu'elles correspondent aux besoins et aux souhaits du maître d'ouvrage. Le concept énergétique global comprend l'enveloppe du bâtiment, la protection solaire, le chauffage, l'alimentation en eau chaude sanitaire, la ventilation, l'utilisation de la chaleur provenant de la machine thermofrigorifique et l'évacuation de la chaleur par le biais de refroidisseurs. Le maître d'ouvrage approuve le concept énergétique.

- 2.5.2 La chaleur de la machine thermofrigorifique doit être utilisée dans le bâtiment, dans la mesure où cela est possible sur le plan technique et opérationnel, et viable économiquement par rapport aux coûts du cycle de vie. Ce n'est que lorsqu'une utilisation n'est pas possible qu'une émission efficace de la chaleur doit avoir lieu par free-cooling ou via un post-refroidisseur (voir annexe A «Utilisation de la chaleur I» et annexe K «Modèle d'étude de viabilité économique»).
- La gestion judicieuse de la chaleur dépend des températures des consommateurs de chaleur, de la quantité de chaleur nécessaire et du moment des besoins de chaleur (simultanéité de la chaleur pouvant être fournie et des besoins de chaleur). Le cas échéant, il est également possible de n'utiliser qu'une partie de la chaleur. Si la chaleur ne peut pas être utilisée directement dans le bâtiment ou conservée dans l'accumulateur de chaleur (pour une courte durée), un stockage saisonnier avec des sondes géothermiques ou l'émission vers un réseau d'énergie doivent alors être étudiés.
- 2.5.3 Les planificateurs doivent quantifier les besoins de froid annuels dans le bâtiment ainsi que les besoins d'énergie et d'eau de l'installation de refroidissement. En outre, les planificateurs doivent mettre en évidence les potentiels de réduction de la consommation de froid, d'énergie et d'eau.
- 2.5.4 Outre les besoins de froid, il convient de prendre en compte les besoins de chauffage du bâtiment dans le concept énergétique global.

2.6 Exigences en matière de protection acoustique

2.6.1 Exigences en matière de protection acoustique intérieure

Les exigences en matière de protection acoustique de l'installation frigorifique selon SIA 181 et SIA 2024 doivent être respectées.

2.6.2 Exigences en matière de protection acoustique extérieure

- 2.6.2.1 La détermination et l'évaluation du bruit extérieur sont régies par l'ordonnance sur la protection contre le bruit [11] ou SIA 181.
- 2.6.2.2 Les prescriptions supplémentaires visant à limiter le bruit des installations techniques du bâtiment édictées par plusieurs cantons et communes doivent être respectées.

2.7 Durée de vie, protection incendie et accessibilité

2.7.1 Principe

Les installations de refroidissement doivent être conçues, montées et utilisées de manière à ne provoquer aucun dommage au bâtiment, à d'autres équipements ou aux personnes et animaux. La rentabilité, la consommation d'énergie et d'eau, les émissions de gaz à effet de serre, le confort et la sécurité de fonctionnement doivent être également pris en compte.

2.7.2 Durée de vie

- 2.7.2.1 La durée de vie technique de l'installation frigorifique et de ses composants doit correspondre aux valeurs usuelles de la branche. Les indications concernant les installations techniques du bâtiment figurant à l'annexe C de la directive SICC BT104-01 [30] et la norme SIA 382/1:2014, tableau 25 (voir également SIA 382/1:2014, chiffre 8.3) peuvent être utilisées comme valeurs indicatives.
- 2.7.2.2 La durée de vie technique est utilisée dans les calculs d'amortissement et n'a aucune répercussion sur la durée de la garantie.

2.7.3 Protection incendie

Les prescriptions des autorités cantonales de protection incendie et les prescriptions suisses de protection incendie doivent être respectées. Les prescriptions applicables aux installations frigorifiques sont définies en particulier par la directive de protection incendie AEAI [41], la norme SN EN 378-1 et la norme SN EN 378-3.

2.7.4 Accessibilité

- 2.7.4.1 Les installations frigorifiques ou les éléments de ces installations doivent être accessibles pour les inspections et les travaux d'entretien et de nettoyage. Le personnel de service doit bénéficier de suffisamment de place pour travailler en toute sécurité (voir également la fiche thématique SUVA [34], les directives CFST [37] et [39] et la norme SN EN 378-3).
- 2.7.4.2 Le remplacement de composants de l'installation frigorifique doit être possible avec un effort raisonnable. Les gros composants (comme par ex. la machine thermofrigorifique, le post-refroidisseur) doivent pouvoir être installés sans avoir à intervenir dans la structure du bâtiment.

3 ÉNERGIE, ÉLECTRICITÉ ET CHALEUR AMBIANTE

3.1 Généralités

L'utilisation systématique de la chaleur générée par l'installation frigorifique maintient la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre à un niveau faible.

3.2 Électricité

L'approvisionnement en électricité de l'installation de refroidissement peut avoir une influence sur le choix et le dimensionnement de la production de froid et de l'accumulateur de froid. Lors de la planification de l'installation de refroidissement, il convient de définir et de consigner différents points dans une phase précoce (avant-projet/projet de construction) avec le planificateur-électricien et le fournisseur de la machine thermofrigorifique:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| – Mode de fonctionnement | Le mode de fonctionnement de l'installation de refroidissement (fonctionnement durant toute l'année ou «seulement» fonctionnement pendant l'été). Selon le mode de fonctionnement, le fournisseur d'électricité applique des tarifs différents en service (haut tarif / bas tarif, tarif de puissance, puissance réactive, etc.), ce qui peut avoir une grande influence sur la rentabilité de l'installation frigorifique. |
| – Conditions de raccordement | Les exigences générales de la fourniture d'électricité (courant nominal maximal, coupures, perturbations du réseau, courant réactif, harmoniques, etc.). |
| – Courant de service max. | Il est préférable que le fournisseur de la machine thermofrigorifique ne définisse pas le courant de service maximal de la machine thermofrigorifique par le biais des courants nominaux des moteurs de compresseur, mais par le biais du point de fonctionnement théorique maximal des compresseurs (réserve incluse). Cela permet d'éviter une alimentation électrique surdimensionnée pour la machine thermofrigorifique. |
| – Courant de court-circuit | Les questions autour du courant de court-circuit doivent être coordonnées avec le planificateur-électricien (résistance aux courts-circuits, protection, etc.). |
| – Courant de service | Le courant de service peut être réduit grâce à des mesures de courant et à une régulation intelligente de limitation du courant (par ex. réseau électrique intelligent local = smart grid) si l'alimentation électrique nécessaire pour la machine thermofrigorifique ne peut pas être assurée pour des raisons architecturales. |
| – Courant réactif | L'approvisionnement en courant réactif de la machine thermofrigorifique doit être maintenu à un niveau aussi réduit que possible pour ne pas charger inutilement le réseau électrique. |
| – Courant de démarrage | Il faut vérifier quelles sont les mesures supplémentaires exigées par le fournisseur d'électricité pour réduire le courant de démarrage. |
| – Perturbations du réseau | Dans le cas de machines thermofrigorifiques avec des compresseurs à fréquence régulée, il faut clarifier avec le planificateur-électricien les risques de perturbations du réseau et prendre au besoin des mesures pour les réduire. |
| – Harmoniques | Dans le cas de machines thermofrigorifiques avec des compresseurs à fréquence régulée, il faut clarifier avec le planificateur-électricien ou avec le gestionnaire de réseau les valeurs limites des harmoniques et prendre au besoin des mesures pour les réduire. |
| – Protection contre les surtensions | Dès qu'un câble électrique est introduit de l'extérieur dans le bâtiment (par ex. en provenance du post-refroidisseur), le planificateur-électricien doit définir une protection contre les surtensions selon la norme sur les installations à basse tension [42].
Le problème de la protection contre la foudre sera par contre résolu par le planificateur-électricien, et ce indépendamment du planificateur de l'installation frigorifique. |
| – Compatibilité électromagnétique CEM | La machine thermofrigorifique doit être blindée selon les mesures prédéfinies par le fournisseur de la machine thermofrigorifique ou alors elle doit être équipée des filtres nécessaires. |

3.3 Free-cooling

- 3.3.1 La possibilité d'un free-cooling est déterminée par la température extérieure (déroulement de la journée et saison). Les températures sont très différentes selon la situation géographique.
- 3.3.2 Avant que la chaleur ne soit évacuée par le biais d'un free-cooling vers l'air extérieur, il faut toujours vérifier si elle ne peut pas être utilisée dans le bâtiment ou pour la régénération d'une sonde géothermique.
- 3.3.3 Si la chaleur ne peut pas être utilisée, les systèmes de free-cooling constituent une solution efficace pour refroidir le bâtiment, et ce particulièrement en hiver. La chaleur peut être évacuée, sans l'utilisation d'un compresseur frigorifique, par le biais du réseau d'eau froide ou de l'installation de ventilation.

3.4 Aqua-cooling

- 3.4.1 La saison et la situation locale déterminent la température d'eau froide des eaux de surface. Celle-ci peut être très différente selon le site.
- 3.4.2 Avant d'évacuer la chaleur par le biais d'eaux de surface, il faut toujours vérifier s'il n'est pas possible de l'utiliser dans le bâtiment.
- 3.4.3 En utilisant des eaux de surface, la chaleur peut être évacuée du bâtiment de manière économe en énergie et écologique, surtout en été. Le bâtiment est alors refroidi par le biais du réseau d'eau froide, sans l'utilisation du compresseur frigorifique.
- 3.4.4 L'émission de la chaleur vers des eaux de surface doit préalablement être convenue avec l'office cantonal compétent.
- 3.4.5 En cas d'émission de la chaleur vers des eaux de surface, il convient de prévoir une séparation des systèmes (une séparation entre le circuit de la machine frigorifique et le circuit des eaux de surface).

3.5 Geo-cooling

- 3.5.1 Les sondes géothermiques émettent la chaleur vers la terre. La température d'eau froide des sondes géothermiques est déterminée par la température de la terre due aux conditions géologiques et elle peut fortement varier.
- 3.5.2 La chaleur peut être évacuée du bâtiment de manière efficace sur le plan énergétique et écologique par le biais de sondes géothermiques, surtout en été. Il est alors possible de refroidir avec le réseau d'eau froide, sans avoir à utiliser le compresseur frigorifique (geo-cooling).
- 3.5.3 Avant d'évacuer la chaleur vers la terre, il faut toujours vérifier s'il n'est pas possible de l'utiliser dans le bâtiment.
- 3.5.4 Si la chaleur ne peut pas être utilisée dans le bâtiment, elle devrait être utilisée pour la régénération de la sonde géothermique. Ainsi, l'énergie est stockée dans un accumulateur saisonnier.
- 3.5.5 La planification, la réalisation et l'exploitation de sondes géothermiques qui utilisent le potentiel de chaleur souterrain pour chauffer et pour refroidir des bâtiments sont réglementées dans SIA 384/6.
- 3.5.6 La température locale des eaux souterraines est très différente selon les sites et elle peut fortement varier.
- 3.5.7 La planification, la réalisation et l'exploitation d'applications de la chaleur des nappes phréatiques qui utilisent le potentiel de chaleur des nappes phréatiques pour chauffer et pour refroidir des bâtiments sont réglementées dans SIA 384/7.

4 MACHINE THERMOFRIGORIFIQUE

4.1 Généralités

La production de froid (machine thermofrigorifique) et la production de chaleur (pompe à chaleur) fusionnent de plus en plus pour former un seul système. De tels systèmes de production qui refroidissent et qui contribuent au chauffage avec la chaleur sont appelés machines thermofrigorifiques. Celles-ci utilisent de manière rationnelle et efficace la chaleur qui est produite lors du refroidissement, au lieu de l'évacuer sans l'exploiter.

4.2 Emplacement de la machine thermofrigorifique

4.2.1 Lors de la sélection et de la planification de l'emplacement de la machine thermofrigorifique, il convient de prendre en compte les critères de décision suivants pour une installation à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment:

- Mise en place de la machine thermofrigorifique lors de l'installation et lors d'un remplacement ultérieur,
- Emplacement du post-refroidisseur (mise en place, démantèlement, circulation de l'air, rayonnement solaire),
- Distance par rapport aux consommateurs en prenant en compte les pertes de distribution,
- Exigence de protection contre le bruit selon SIA 181,
- Ordonnance sur la protection contre le bruit [11] et recommandations de l'association des spécialistes cantonaux de protection contre le bruit [57],
- Protection incendie: directive de protection incendie AEA [41],
- Évacuation de la chaleur du local des machines ou du boîtier ventilé (protection contre la surchauffe),
- Étanchéité du local des machines selon les informations générales fournies dans SN EN 378,
- Ventilation et aération du local selon SN EN 378,
- Air évacué contaminé selon les directives OFEV [23],
- Air rejeté contaminé selon l'Ordonnance sur la protection de l'air [10],
- Installations d'évacuation d'air (air rejeté) selon SN EN 378,
- Tuyaux d'évacuation selon SN EN 378,
- Distance par rapport aux ouvertures du bâtiment et aux prises d'air extérieur, systèmes d'évacuation de l'eau selon SIA 382/1,
- Prévention d'un écoulement incontrôlé de fluide frigorigène ou de fluides réfrigérants et caloporteurs dans le sol, dans l'air et dans les canalisations,
- Ventilation d'urgence mécanique en cas de fuite de fluide frigorigène selon SN EN 378,
- Surveillance de l'air intérieur (fluide frigorigène) selon SN EN 378 et les recommandations de l'ORRChim [12],
- Sécurité au travail selon SUVA [34],
- Prévention de la mise en danger de personnes par la machine thermofrigorifique (par ex. dans le cas d'installations compactes avec du propane sur une terrasse sur le toit, lorsqu'un espace barbecue, des appareils électriques ou une ventilation monobloc se trouvent à proximité),
- Approvisionnement en électricité,
- Accès pour l'exploitation, la maintenance et l'entretien.

Cette énumération n'est ni exhaustive, ni définitive.

4.2.2 Il convient de déterminer l'encombrement au moyen d'une planification intégrale, c'est-à-dire en collaboration avec tous les planificateurs spécialisés. Dans la phase d'avant-projet, l'encombrement approximatif peut être déterminé de manière similaire à SIA 384/1 ou à l'aide de l'annexe C.

4.3 Détermination de la puissance de la machine thermofrigorifique

4.3.1 Principes relatifs au dimensionnement

Une installation de refroidissement ne tourne à pleine puissance que quelques heures par an. La plupart du temps, elle fonctionne dans une plage de charge partielle, dans laquelle elle consomme le plus d'énergie.

4.3.2 Capacité de refroidissement requise du fait d'apports de chaleur internes

4.3.2.1 La capacité de refroidissement requise du fait d'apports de chaleur internes doit être déterminée avec la méthode de calcul selon SIA 380/2:2022 ou avec une méthode de calcul équivalente.

4.3.2.2 Les apports de chaleur internes suivants doivent être pris en compte:

- apports de chaleur dus aux personnes,
- apports de chaleur dus aux appareils électriques,
- apports de chaleur dus aux éclairages.

4.3.2.3 Afin de maintenir les apports de chaleur dus aux appareils et aux éclairages à un niveau aussi faible que possible, il convient de choisir des appareils et des éclairages économes en énergie. Ceux-ci doivent être utilisés en fonction des besoins.

4.3.3 Capacité de refroidissement requise du fait d'influences externes

4.3.3.1 La capacité de refroidissement requise du fait d'apports de chaleur externes (conditions météorologiques) doit être déterminée avec la méthode de calcul selon SIA 380/2 ou avec une méthode de calcul équivalente.

4.3.3.2 Afin de maintenir les influences externes non intentionnelles (par ex. le rayonnement solaire en plein été) à un niveau aussi réduit que possible, il convient de respecter les exigences en matière de protection thermique selon SIA 180.

4.3.4 Rupture de pics de charge

Le pic de charge de capacité de refroidissement doit être rompu au moyen de mesures appropriées.

Méthodes appropriées:

- Activer la masse du bâtiment: S'assurer que la masse du bâtiment soit accessible et activable pour le système de refroidissement.
- Mesures de technique de régulation: Grâce à des mesures de technique de régulation, comme par exemple le refroidissement nocturne à 18 °C et l'augmentation de la température ambiante à 27 °C durant la journée.
- Réduction de la chaleur perdue: L'émission de chaleur des sources de chaleur perdue intérieures peut être réduite grâce à des éclairages et à des appareils techniques économes en énergie qui sont utilisés en fonction des besoins.
- Protection thermique renforcée: Examen d'une protection thermique renforcée pour l'été qui protège le bâtiment (au-delà des exigences de SIA 180) contre le rayonnement solaire intense et contre les températures extérieures élevées.

4.3.5 Dimensionnement de la puissance en cas de remise à neuf de la machine thermofrigorifique

4.3.5.1 Afin que la production de froid ne soit pas surdimensionnée et qu'elle fonctionne de manière efficace, le calcul des besoins de puissance (refroidissement) doit être effectué par rapport à tout le bâtiment et non par rapport à la somme des charges de refroidissement des différents locaux.

4.3.5.2 Outre le bon dimensionnement de la machine thermofrigorifique, il convient de prendre en compte les points suivants:

- les températures du système d'eau froide doivent être aussi élevées que possible (voir 9.2.2),
- les températures de post-refroidissement doivent être aussi basses que possible. L'installation de post-refroidissement doit être dimensionnée généreusement, et la température à la sortie du post-refroidisseur doit être régulée en fonction de la température extérieure (voir 10.3.2.2).

- 4.3.5.3 Pour le dimensionnement correct de l'installation frigorifique, il convient de mesurer la consommation de froid avant le remplacement d'une machine thermofrigorifique existante.
- Dans le cas d'installations frigorifiques d'une puissance de refroidissement de plus de 300 kW, la consommation de froid est déterminée idéalement avec trois mesures (été, intersaison et hiver) d'une durée d'une semaine à chaque fois. Après chaque mesure, il convient de vérifier si les valeurs peuvent être correctes. Le cas échéant, elles doivent être plausibilisées avec une deuxième mesure.
 - Dans le cas d'installations frigorifiques d'une puissance de refroidissement de plus de 300 kW, la consommation de froid en été doit au minimum être déterminée sur une durée d'une semaine. Après chaque mesure, il convient de vérifier si les valeurs peuvent être correctes. Le cas échéant, elles doivent être plausibilisées avec une deuxième mesure.
- 4.3.6 **Besoins de puissance de refroidissement de nouvelles constructions**
- 4.3.6.1 La puissance de la production de froid d'une nouvelle construction est déterminée avec un calcul des besoins de puissance.
- 4.3.6.2 Le calcul des besoins de puissance est réalisé avec la méthode de calcul selon SIA 380/2 ou avec une méthode de calcul équivalente.
- 4.3.7 **Supplément de puissance dans le cas d'installations frigorifiques**
- 4.3.7.1 Les installations frigorifiques doivent de préférence être dimensionnées sans suppléments de puissance.
- 4.3.7.2 Les installations, pour lesquelles la convention d'utilisation exige explicitement un supplément de puissance, constituent des exceptions.
- 4.3.7.3 Une production de froid trop surdimensionnée est souvent plus inefficace qu'une installation correctement dimensionnée.
- 4.3.7.4 Un supplément de sécurité de fonctionnement doit être défini indépendamment de la puissance globale nécessaire, et il doit être indiqué en tant que redondance.
- 4.3.7.5 Il convient de prévoir suffisamment de place dans le local des machines pour de futurs agrandissements. En revanche, des suppléments de puissance pour les agrandissements ne doivent pas être intégrés au calcul.
- 4.3.8 **État de charge des installations frigorifiques**
- 4.3.8.1 La puissance de refroidissement maximale de l'installation frigorifique (pleine charge = 100% de puissance) n'est nécessaire que pendant quelques heures dans l'année. La plupart du temps, l'installation frigorifique ou certaines machines ou compresseurs fonctionnent en charge partielle. Lors du fonctionnement en charge partielle, certaines machines ou compresseurs sont désactivés, la puissance de refroidissement d'une machine est réduite ou une machine commence à fonctionner de façon cyclique (réduction de la puissance par mises en marche et arrêts successifs). Les machines frigorifiques trop surdimensionnées fonctionnent plus fréquemment de façon cyclique et elles sont de ce fait moins efficaces sur le plan énergétique et, la plupart du temps, plus sujettes aux pannes.
- 4.3.8.2 La puissance d'une machine thermofrigorifique peut être réduite plus ou moins fortement, selon la configuration de la machine (type de construction du compresseur, fluide frigorigène, commande). Dans le meilleur des cas, la puissance peut être réduite jusqu'à env. 25%, parfois à une valeur encore plus faible.
- 4.3.8.3 Une conception habile de l'installation frigorifique (qui peut être constituée de plusieurs machines thermofrigorifique et de plusieurs compresseurs) améliore la capacité de fonctionnement en charge partielle de la production de froid. Plusieurs petits compresseurs à la place d'un gros compresseur, une commande avec un convertisseur de fréquence, une désactivation de cylindre, une régulation par coulisseau ou une installation avec plusieurs machines constituent des solutions permettant d'adapter la puissance de l'installation frigorifique ou de la machine aux besoins effectifs au cours de l'année.
- De plus, lors du fonctionnement en charge partielle, la température de post-refroidissement est également plus basse, ce qui rend la machine plus performante et efficace.

- 4.3.8.4 Les charges réduites (par ex. un petit consommateur isolé, qui n'a par ex. besoin que de 3% de la puissance de refroidissement installée en hiver) constituent, pour de nombreuses installations frigorifiques et du point de vue de l'efficacité énergétique, un problème qu'il faut plus particulièrement prendre en compte. La situation de charge réduite peut souvent être rendue nettement plus efficace, entre autres avec une solution hydraulique (accumulateur), une machine à charge réduite (par ex. avec utilisation de la chaleur perdue) ou une solution isolée (climatiseur split). Concernant la gestion de petits locaux ou encore de locaux individuels, voir également l'annexe D.

4.4 Informations concernant différents types de producteurs de froid

- 4.4.1 Ci-après sont énumérées des exigences, des recommandations et des informations concernant différents types de producteurs de froid. La présente norme ne prétend pas présenter une énumération exhaustive des différentes technologies.
- 4.4.2 La présente norme concerne exclusivement des machines thermofrigorifiques à compression mécanique ou électrique.
- 4.4.3 D'autres systèmes de production de froid, tels que:
- machine frigorifique à moteur à gaz,
 - machines frigorifiques à absorption,
 - machine frigorifique à absorption-diffusion,
 - installation frigorifique à jet de vapeur,
 - systèmes à base de l'effet Joule-Thomson,
 - refroidisseur à tube pulsé,
 - effet thermoélectrique (élément Peltier),
 - refroidissement magnétique, etc.
- ne sont pas traités par la présente norme. Ces technologies ne sont pas employées de manière standard dans le domaine du refroidissement.

4.5 Systèmes eau-air

Dans le cas d'installations compactes avec condenseur direct, ces systèmes sont des groupes de production d'eau glacée avec condenseur intégré refroidi par air (post-refroidisseur). Ils forment une unité complète et se trouvent généralement à l'extérieur. Dans des cas exceptionnels, ils peuvent être installés à l'intérieur et l'air peut être amené ou évacué.

Une importance particulière doit être accordée aux exigences en matière de protection contre le bruit et aux exigences de sécurité du lieu d'installation (voir également 4.2.2). Un permis de construire est nécessaire.

4.6 Systèmes eau-eau

4.6.1 Sonde géothermique

- 4.6.1.1 La planification, la réalisation et l'exploitation de sondes géothermiques pour le chauffage et le refroidissement sont réglementées dans SIA 384/6.
- 4.6.1.2 Les points suivants doivent être pris en compte :
- les températures maximales du fluide caloporteur doivent être convenues avec l'office cantonal compétent,
 - le bilan de l'apport de chaleur et de l'utilisation du froid doit être examiné sur l'année,
 - le prélèvement d'énergie, le stockage d'énergie et l'assèchement du sol doivent être pris en considération,
 - concertation en amont avec le géologue et le fabricant de sondes géothermiques au sujet de la situation locale.

4.6.2 Nappes phréatiques

- 4.6.2.1 La planification, la réalisation et l'exploitation de la chaleur des nappes phréatiques pour le chauffage et le refroidissement sont réglementées dans SIA 384/7.
- 4.6.2.2 Les points suivants doivent être pris en compte :
- impliquer les autorités cantonales en amont,
 - vérifier l'admissibilité à l'approbation de l'apport de chaleur envisagé dans la nappe phréatique, et clarifier ce point auprès des autorités,
 - prélever un échantillon dans la nappe phréatique et le faire analyser,
 - vérifier la compatibilité des matériaux,
 - vérifier la compatibilité biologique et chimique de l'eau (encrassement biologique, formation d'algues, boue, sable, etc.).

4.6.3 Eaux de surface (lac ou rivière)

- 4.6.3.1 La planification, la réalisation et l'exploitation d'installations d'eaux de surface pour le chauffage et le refroidissement ne sont réglementées dans aucune norme. Les directives relatives à la puissance (approvisionnement en eau ou stockage de l'eau) et aux températures de restitution diffèrent d'un canton à l'autre et d'une région à l'autre.
- 4.6.3.2 Les lois et les ordonnances suivantes doivent être prises en compte :
- constitution fédérale [1],
 - loi [8] et ordonnance [9] sur la protection des eaux,
 - loi sur la pêche [17],
 - loi [2] et ordonnance [3] sur la protection de la nature et du paysage,
 - loi sur l'aménagement du territoire [5],
 - loi sur l'énergie [6],
 - loi sur le CO₂ [4].
- 4.6.3.3 Des lois et ordonnances selon 4.6.3.2 découlent les lois, les ordonnances et les directives cantonales et communales. Les cantons sont compétents pour les eaux appartenant aux cantons, et les communes sont compétentes pour les affaires relatives à la terre.
- 4.6.3.4 Les points suivants doivent être pris en compte lors de la planification :
- conflits d'utilisation (flux de court-circuit, distances par rapport aux prises d'eau potable),
 - températures de restitution max. pour l'eau de refroidissement,
 - admissibilité à l'approbation dans le cas «seulement refroidir»,
 - changements de température entre le soutirage et la restitution,
 - changement de température des eaux,
 - profondeur de soutirage et profondeur de restitution¹,
 - restrictions pour les petites installations,
 - dimensionnement de la conduite lacustre,
 - protection des eaux contre la pollution,
 - compatibilité des matériaux,
 - encrassement biologique (formation d'algues, moules, boue, sable, etc.).

4.6.4 Systèmes air-eau

Par systèmes air-eau, on entend des pompes à chaleur. Ils ne font pas l'objet de la présente norme.

4.6.5 Systèmes air-air

Les systèmes air-air sont utilisés en tant que climatiseurs split ou en tant qu'appareils de chauffage split. Ces deux applications ne font pas l'objet de la présente norme.

¹ La profondeur de soutirage et de restitution sont les grandeurs déterminantes pour l'évaluation de la biologie et de l'évolution annuelle de la température.

4.7 Chaleur : utiliser ou évacuer

4.7.1 Généralités

- 4.7.1.1 La chaleur issue de la machine thermofrigorifique doit être utilisée. Une procédure systématique d'utilisation de la chaleur est indiquée à l'annexe A. L'annexe B propose des informations
- sur la quantité de chaleur utilisable,
 - sur les températures,
 - sur l'influence de l'utilisation de la chaleur sur l'efficacité de la machine frigorifique,
 - sur l'utilisation de la chaleur issue du désurchauffeur.
- Si la chaleur issue du circuit frigorifique ne peut pas être utilisée, elle doit être évacuée efficacement par le biais d'un post-refroidisseur.

- 4.7.1.2 La part de la chaleur qui peut être prélevée lors de la désurchauffe des gaz chauds par le biais du désurchauffeur dépend du fluide frigorigène et des températures du système (par ex. températures d'eau froide et de post-refroidissement, ainsi que températures du système de chauffage).
- Dans le cas de fluides frigorigènes, comme par exemple le CO₂, le NH₃, le propane, etc., cette part correspond à une valeur entre 10% et 20%.
 - Dans le cas de fluides frigorigènes, comme par exemple le R1234ze, la part de la chaleur représente entre 2 % et 5 %.

- 4.7.1.3 La température utilisable de la chaleur qui peut être prélevée lors de la désurchauffe des gaz chauds par le biais du désurchauffeur dépend du fluide frigorigène et des températures du système (par ex. température d'évaporation et de condensation ou température d'eau froide et d'eau de refroidissement). Elle se situe dans une plage de 40 °C à 90 °C (avec le CO₂ et le NH₃ jusqu'à 130 °C) et elle est nettement plus élevée que la température utilisable issue du condenseur. Cela rend la désurchauffe des gaz chauds intéressante sur le plan énergétique. L'utilisation de la chaleur provenant du désurchauffeur ne réduit pas l'efficacité de la machine thermofrigorifique ou l'EER (COP_c).

4.7.2 Utilisation de la chaleur avec un sous-refroidissement externe

Le sous-refroidissement externe permet d'évacuer la chaleur du circuit frigorifique, et ce grâce à un récupérateur de chaleur qui est installé en aval du condenseur.

La température du fluide dans le sous-refroidisseur externe doit être nettement inférieure à la température d'entrée du fluide dans le condenseur. Le rendement calorifique à la sortie du sous-refroidissement externe est inférieur à celui du condenseur et se situe dans une plage de 5% à 15%. Le sous-refroidissement externe augmente l'EER (COP_c), et il est judicieux même si la chaleur évacuée n'est pas utilisée.

4.7.3 Utilisation de la chaleur provenant du condenseur sans augmentation de la température

La température utilisable de la chaleur de condensation sans une augmentation de la température dépend de la température extérieure. L'utilisation de cette chaleur est toujours judicieuse.

4.7.4 Utilisation de la chaleur provenant du condenseur avec augmentation de la température

La température de condensation est augmentée de manière ciblée jusqu'à un niveau utilisable. Ainsi, la chaleur de la machine thermofrigorifique n'est pas émise vers le puits thermique le plus froid. Avec l'augmentation, la hausse de la température devant être surmontée par la machine thermofrigorifique s'accroît.

Malgré le fait que l'efficacité et l'EER (COP_c) de la machine thermofrigorifique baissent légèrement, une augmentation de la température et l'utilisation de la chaleur sont toujours judicieuses, car l'efficacité globale (taux d'utilisation global) du système s'améliore nettement.

4.7.5 Refroidissement naturel

Dans le cas du refroidissement naturel (refroidissement passif ou refroidissement gratuit), la température du puits thermique (air extérieur, terre, nappe phréatique, etc.) est inférieure à la température du fluide frigorigène. La chaleur peut être évacuée directement, sans la machine thermofrigorifique.

4.7.6 **Évacuer la chaleur**

Si la chaleur (chaleur de condensation) ne peut pas être utilisée, elle doit être évacuée. La chaleur peut par exemple être transmise à l'air extérieur, à la nappe phréatique, à l'eau d'un lac, à l'eau d'une rivière, à la terre ou à un réseau d'énergie. Il est important que la température de condensation soit toujours adaptée à la température actuelle du fluide du consommateur de chaleur et qu'elle soit maintenue à un niveau aussi bas que possible (par ex. décalage de la température selon la température extérieure). Cela augmente l'efficacité globale du système.

4.8 Dispositifs techniques de sécurité

- 4.8.1 Les systèmes conduisant de l'eau (évaporateur, condenseur, système de puissance, etc.) doivent être planifiés selon la directive SICC [31].
- 4.8.2 Les exigences posées aux dispositifs techniques de sécurité des fluides frigorigènes sont décrites dans la SN EN 378-3.
Le Guide des fluides frigorigènes [52] décrit d'une manière simple et compréhensible les mesures constructives principales selon SN EN 378-3 pour les installations avec des fluides frigorigènes des classes de sécurité A1 et A2L². L'aide à la planification électronique [61] constitue une aide pour la mise en œuvre de la norme.
- 4.8.3 Les exigences de sécurité doivent être clarifiées dans une phase précoce du projet. Les exigences de sécurité varient en fonction de l'accessibilité des personnes, des fluides frigorigènes et de la quantité de remplissage de fluide frigorigène. Cela a une influence sur l'architecture (taille du local, portes, issues de secours, etc.) et sur les autres corps de métier (ventilation, tuyaux d'évacuation, étanchéité, chaudière, compresseurs à air comprimé, etc.).
- 4.8.4 Pour l'implantation de l'installation frigorifique, une analyse des risques doit être réalisée dans le processus de planification, conformément à SN EN 378. Les mesures nécessaires découlant de l'analyse des risques doivent être consignées par écrit et, le cas échéant, faire l'objet d'une concertation avec les autorités ou les offices compétents (assurance immobilière, police du feu, SUVA, etc.) et d'une vérification par celles-ci/ceux-ci.

² La classe de sécurité indique le niveau de toxicité (A ou B) et d'inflammabilité (1, 2L, 2 ou 3) du fluide frigorigène.
A = toxicité faible; B = toxicité accrue,
1 = non inflammable; 2L = difficilement inflammable; 2 = inflammable; 3 = hautement inflammable

5 FLUIDES FRIGORIGÈNES

5.1 Généralités

- 5.1.1 Les fluides frigorigènes qui peuvent être utilisés dépendent de leur potentiel de réchauffement global (GWP), de la puissance de refroidissement de l'installation frigorifique, de la quantité de remplissage de fluide frigorigène et de l'utilisation du froid.
- 5.1.2 La mise sur le marché d'installations frigorifiques et d'installations de climatisation avec des fluides frigorigènes stables dans l'air (hydrocarbures partiellement fluorés HFC) est réglementée à l'annexe 2.10 de l'ORRChim [12]. L'ORRChim restreint l'utilisation des différents fluides frigorigènes du fait de leur impact sur l'environnement
- en interdisant leur mise sur le marché,
 - en ne l'autorisant que jusqu'à une puissance de refroidissement prédéfinie,
 - en n'autorisant qu'une certaine quantité de remplissage,
 - en décrivant les exigences posées aux exceptions.
- L'annexe J indique de manière approfondie quelles restrictions doivent être prises en compte lors de la mise sur le marché.
- 5.1.3 Dans la mesure du possible, il convient d'utiliser des fluides frigorigènes naturels. L'annexe J indique quels sont les différents types de fluides frigorigènes qui existent et ce qu'il faut prendre en compte à leur sujet.

5.2 Sécurité et fluides frigorigènes

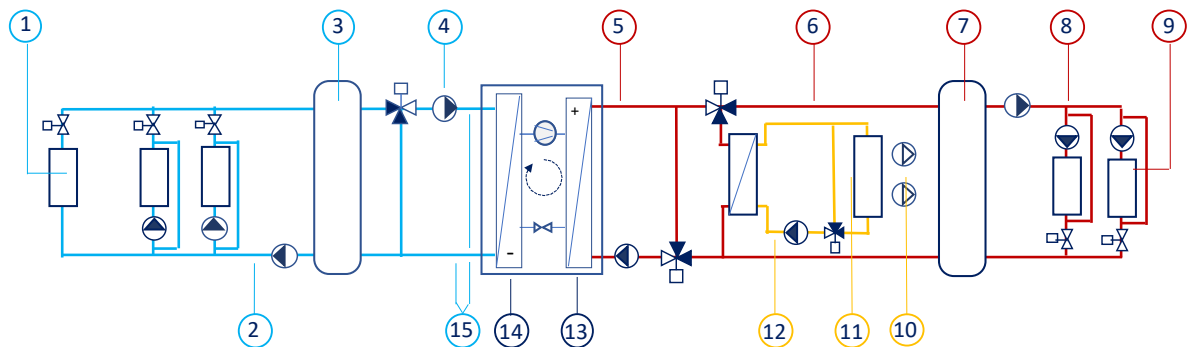
- 5.2.1 En termes de sécurité liée à l'impact de l'installation frigorifique sur les personnes et les installations, les points suivants sont importants :
- le fluide frigorigène (classification) avec son inflammabilité et sa toxicité,
 - la quantité de remplissage de fluide frigorigène,
 - le lieu d'installation,
 - l'accessibilité,
 - la construction de l'installation,
 - les équipements de sécurité nécessaires et les exigences de sécurité,
 - la prévention des accidents (fuite de fluide frigorigène),
 - la protection incendie.
- L'annexe J énumère dans le détail les normes avec les exigences en termes de sécurité des personnes et des installations.
- 5.2.2 En ce qui concerne la sécurité liée à l'impact de l'installation frigorifique sur l'environnement, les points suivants sont importants :
- le fluide frigorigène (potentiel de réchauffement global et potentiel de déplétion ozonique),
 - l'étanchéité du circuit frigorifique (finition, entretien, etc.),
 - l'efficacité énergétique, la consommation d'énergie.
- L'annexe J énumère dans le détail les normes avec les exigences en termes de sécurité liée à l'impact sur l'environnement.

6 EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

6.1 Généralités

De nombreux composants et réglages influencent ensemble, en tant que système global, l'efficacité énergétique d'une installation frigorifique de climatisation. L'accent n'est donc pas «seulement» mis sur les composants individuels, mais sur le bâtiment dans son ensemble (le cas échéant également sur un site ou un quartier).

Figure 3 Facteurs d'influence importants sur l'efficacité d'une installation frigorifique



1. Besoin de refroidissement	Le besoin de refroidissement doit être maintenu à un niveau aussi bas que possible. Pour cela, il faut réduire au minimum l'apport de chaleur (voir 4.3.3), réduire la chaleur perdue (voir 4.3.2) et refroidir le bâtiment durant la nuit avec l'air ambiant frais (voir 4.3.4).
2. Températures d'eau froide	Le système doit travailler avec des températures d'eau froide les plus élevées possible (voir 9.2.2).
3. Accumulateur de froid	L'accumulateur de froid doit être dimensionné de sorte qu'un fonctionnement sûr et économe en énergie de l'installation soit assuré (voir 7.1).
4. Dispositifs auxiliaires de production	Les dispositifs auxiliaires de production, tels que les pompes, les ventilateurs, les vannes, les actionneurs, doivent être dimensionnés de façon appropriée et ils exploités en fonction des besoins (voir 8.5).
5. Température à la sortie du condenseur	Il s'agit d'atteindre les températures les plus basses possibles à l'entrée et à la sortie du condenseur (voir 10.3.2.2).
6. Température à l'entrée de l'accumulateur	La température à l'entrée de l'accumulateur détermine la température nécessaire pour une utilisation de la chaleur. Une augmentation de 1 K de la température à la sortie du condenseur pour l'utilisation de la chaleur augmente le besoin d'énergie d'entraînement d'environ 2,5%. Lorsque la température à la sortie du condenseur est augmentée pour l'utilisation de la chaleur (voir annexe A et annexe B), il faut donc utiliser 100% de la chaleur.

7. Accumulateur de chaleur	L'accumulateur de chaleur doit être dimensionné de sorte qu'un fonctionnement sûr et économe en énergie de l'installation soit assuré (voir 7.2).
8. Température de l'utilisation de la chaleur	Il s'agit d'atteindre des températures basses dans le système. Les systèmes d'utilisation de la chaleur doivent être dimensionnés en conséquence. En outre, il faut utiliser des circuits hydrauliques qui permettent des températures de retour basses (voir annexe H).
9. Besoin de chaleur	S'il existe un besoin de chaleur, il faut utiliser dans la mesure du possible la chaleur de la machine thermofrigorifique (voir 4.7).
10. Mode opératoire du post-refroidisseur	Lorsque les températures extérieures sont élevées, les post-refroidisseurs secs atteignent des températures d'eau de refroidissement moins basses que les post-refroidisseurs humides, hybrides et adiabatiques (voir 10.3.2). Les refroidisseurs doivent être nettoyés et entretenus régulièrement afin qu'il puissent travailler de manière efficace sur le plan énergétique (voir 10.3.9).
11. Température d'aspiration (air)	Plus la température de l'air amené vers le post-refroidisseur est basse, plus le système travaille efficacement (voir 10.3.6).
12. Températures du circuit de post-refroidissement	Plus les températures de départ et de retour dans le circuit de post-refroidissement sont basses, plus le système travaille efficacement (voir 10.3.2).
13. Machine thermofrigorifique	Il convient de choisir une machine thermofrigorifique qui travaille de manière efficace sur le plan énergétique tout au long de l'année, quel que soit le niveau de fonctionnement (voir 4.3.5).
14. Régulation	La régulation de l'installation frigorifique, des machines thermofrigorifiques ainsi que des refroidisseurs doit être adaptée au besoin réel (par ex. décalage selon la température extérieure, voir également 6.4, 8.4.6 et 11.5). Afin que le système global puisse travailler de manière efficace sur le plan énergétique, les régulations des différents systèmes partiels doivent être coordonnées entre elles (voir 11.1).
15. Températures au niveau de l'évaporateur	Il s'agit d'atteindre les températures les plus élevées possibles à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur (voir 9.2.2).

6.2 Efficacité de la machine thermofrigorifique

6.2.1 L'efficacité minimale de la machine thermofrigorifique est définie par le *Seasonal Energy Performance Ratio* SEER (12/7 °C). Le $SEER_{min}$ déterminant est basé sur le $SEER_{li}$ et le $SEER_{sys}$. La plus élevée de ces deux valeurs définit la valeur déterminante pour le $SEER_{min}$, que la machine thermofrigorifique planifiée et installée doit atteindre au minimum.

6.2.2 Le SEER (12/7 °C) de la machine thermofrigorifique est déterminé selon SN EN 14825.

6.2.3 Dans le cas d'une installation frigorifique avec plusieurs machines thermofrigorifiques, le $SEER_{li}$ est déterminé individuellement pour chaque machine.

C'est la puissance de refroidissement maximale qui détermine au point de dimensionnement la puissance déterminante du refroidisseur d'une machine thermofrigorifique.

La puissance déterminante du refroidisseur définit pour sa part le $SEER_{li}$ correspondant.

Cela vaut pour chaque machine frigorifique d'une installation frigorifique complète, même si les puissances de la machine thermofrigorifique ne sont pas identiques.

6.2.4 Même dans le cas de machines thermofrigorifiques redondantes, chaque machine doit être considérée individuellement, et ce indépendamment de la charge de refroidissement et de sa tâche (par ex. machine de secours).

6.2.5 Détermination du $SEER_{li}$

Le $SEER_{li}$ pour les différentes puissances de refroidisseur de machines thermofrigorifiques refroidies par air et par eau est spécifié dans l'EnEV [7] (Ordonnance sur l'économie d'énergie), annexe 2.11, ou encore dans le règlement de l'UE [44], et il figure dans le tableau 1.

Tableau 1 Exigences énergétiques ($SEER_{li}$) posées aux machines thermofrigorifiques refroidies par air et par eau

Puissance du refroidisseur ¹ en kW	< 100	≥ 100 à < 250	≥ 250 à < 400	≥ 400 à < 1500	≥ 1500
Machines refroidies par air	4,10	4,10	4,10	4,55	4,55
Machines refroidies par eau	5,08	5,08	5,08	6,38	6,88

¹ Puissance du refroidisseur de la machine thermofrigorifique pour une charge de 100%

6.2.6 Détermination du $SEER_{sys}$

6.2.6.1 Le $SEER_{sys}$ est calculé comme suit:

$$SEER_{sys} = SEER_0 * (1 + f_S + f_R + f_{vol} + f_{mod}) \quad (1)$$

$SEER_{sys}$ valeur SEER spécifique à l'installation

$SEER_0$ SEER de base

(voir tableau 2)

f_S facteur de correction pour le site

(voir tableau 3)

f_R facteur de correction pour le fluide frigorigène

(voir tableau 4)

f_{vol} facteur de correction pour la quantité de remplissage de fluide frigorigène

(voir tableau 5)

f_{mod} facteur de correction pour le type de fonctionnement

(voir tableau 6)

6.2.6.2 Le $SEER_0$ pour les différentes puissances du refroidisseur de machines thermofrigorifiques refroidies par air et par eau figure dans le tableau 2.

Tableau 2 Exigences énergétiques (SEER₀) posées aux machines thermofrigorifiques refroidies par air et par eau

Puissance du refroidisseur ¹ en kW	< 100	≥ 100 à < 250	≥ 250 à < 400	≥ 400 à < 1500	≥ 1500
Machines refroidies par air	4,20	4,40	4,60	4,80	4,80
Machines refroidies par eau	5,40	5,40	5,60	7,20	8,10

¹ Puissance du refroidisseur de la machine thermofrigorifique pour une charge de 100%

- 6.2.6.3 Le facteur de correction pour le site (f_s) figure au tableau 3. Pour les sites qui ne figurent pas dans le tableau 3, il convient de choisir la station climatique la plus proche dans le tableau 3.

Tableau 3 Facteur de correction site

Station climatique	f_s	Station climatique	f_s	Station climatique	f_s
Adelboden	- 0,04	Grand-Saint-Bernard	- 0,05	Samedan	- 0,05
Altdorf	- 0,02	Güttingen	- 0,03	San Bernardino	- 0,05
Bâle-Binningen	- 0,02	La Chaux-de-Fonds	- 0,04	Schaffhouse	- 0,02
Berne-Liebelfeld	- 0,02	Locarno-Monti	0,00	Scuol	- 0,04
Buchs-Aarau	- 0,02	Lugano	0,00	Sion	- 0,01
Coire	- 0,02	Lucerne	- 0,02	Saint-Gall	- 0,03
Davos	- 0,04	Magadino	0,00	Vaduz	- 0,02
Disentis	- 0,04	Montana	- 0,04	Wynau	- 0,02
Engelberg	- 0,04	Neuchâtel	- 0,02	Zermatt	- 0,04
Genève-Cointrin	- 0,01	Payerne	- 0,02	Zurich SMA	- 0,03
Glaris	- 0,03	Robbia	- 0,04		

- 6.2.6.4 Le facteur de correction pour le fluide frigorigène (f_R) figure dans le tableau 4.

Tableau 4 Facteur de correction fluide frigorigène

Type de fluide frigorigène	Machines thermofrigorifiques	Puissance du refroidisseur en kW pour une charge de 100%	f_R
Fluide frigorigène synthétique	refroidi par air et par eau	Plage de puissance complète	0,00
Fluide frigorigène naturel	refroidi par air	Plage de puissance complète	- 0,03
Fluide frigorigène naturel	refroidi par eau	jusqu'à 400 kW	- 0,05
Fluide frigorigène naturel	refroidi par eau	plus de 400 kW	- 0,10

- 6.2.6.5 Le facteur de correction pour la quantité de remplissage de fluide frigorigène (f_{vol}) figure dans le tableau 5.

Tableau 5 Facteur de correction quantité de remplissage de fluide frigorigène

Type de fluide frigorigène	Machine air-eau, réversible	Quantité de remplissage de fluide frigorigène	f_{vol}
Fluide frigorigène naturel			0,00
Fluide frigorigène synthétique	non	< 0,4 kg/kW	0,00
Fluide frigorigène synthétique	non	> 0,4 kg/kW	0,03
Fluide frigorigène synthétique	oui	< 0,6 kg/kW	0,00
Fluide frigorigène synthétique	oui	> 0,6 kg/kW	0,03

6.2.6.6 Le facteur de correction pour le type de fonctionnement (f_{mod}) figure dans le tableau 6.

Les machines thermofrigorifiques réversibles peuvent refroidir et chauffer, mais pas les deux en même temps (commutation de processus).

Dans le cas du type de fonctionnement avec utilisation de la chaleur, il convient de faire la distinction entre installations sans dépense énergétique supplémentaire et installations avec dépense énergétique supplémentaire pour l'utilisation de la chaleur.

- L'utilisation de la chaleur sans dépense énergétique supplémentaire exploite la chaleur de désurchauffe (voir B.1.1) et la chaleur de condensation existante (voir B.1.2). Cela n'a aucune influence sur le SEER. Aucune correction n'est donc nécessaire dans ce type d'utilisation de la chaleur ($f_{\text{mod}} = 0,00$).
- Dans le cas de l'utilisation de la chaleur avec dépense énergétique supplémentaire, la température de condensation est augmentée à cet effet, ce qui conduit à un besoin d'énergie d'entraînement supplémentaire (voir B.1.3). Une correction est donc autorisée ($f_{\text{mod}} = -0,08$).

Tableau 6 Facteur de correction type de fonctionnement

Type de fonctionnement	f_{mod}
seulement refroidir	0,00
réversible (ne pas refroidir et chauffer en même temps)	- 0,02
utilisation de la chaleur (refroidir et chauffer en même temps)	- 0,08

6.2.7 Détermination du SEER_{min}

Le SEER_{min} que la machine thermofrigorifique doit atteindre au minimum correspond à la plus élevée des deux valeurs SEER (SEER_{li} et SEER_{sys}).

6.2.8 Exemple 1

Machine thermofrigorifique refroidie par air	Puissance de refroidissement 320 kW	SEER_0	= 4,60	Tableau 2
Site	Bâle	f_S	= - 0,02	Tableau 3
Fluide frigorigène	Propane (naturel)	f_R	= - 0,03	Tableau 4
Quantité de remplissage de fluide frigorigène		f_{vol}	= 0,00	Tableau 5
Type de fonctionnement	Utilisation de la chaleur	f_{mod}	= - 0,08	Tableau 6

$$\begin{aligned}\text{SEER}_{\text{sys}} &= \text{SEER}_0 * (1 + f_S + f_R + f_{\text{vol}} + f_{\text{mod}}) \\ \text{SEER}_{\text{sys}} &= 4,60 * (1 + -0,02 + -0,03 + 0,00 + -0,08) \\ \text{SEER}_{\text{sys}} &= 4,60 * 0,87 \\ \text{SEER}_{\text{sys}} &= 4,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SEER}_{\text{sys}} &= 4,00 \\ \text{SEER}_{\text{li}} &= 4,10 \quad (\text{voir tableau 1})\end{aligned}$$

Le SEER_{min} correspond à la valeur la plus élevée, c'est-à-dire que la machine thermofrigorifique doit présenter un SEER_{min} d'au moins 4,10.

6.2.9 Exemple 2

Machine thermofrigorifique refroidie par eau	Puissance de refroidissement 500 kW	SEER ₀ = 7,20	Tableau 2
Site	Sion	f _S = - 0,01	Tableau 3
Fluide frigorigène	R1234ze	f _R = 0,00	Tableau 4
Quantité de remplissage de fluide frigorigène	220 kg (ou 0,44 kg/kW)	f _{vol} = 0,03	Tableau 5
Type de fonctionnement	seulement refroidir	f _{mod} = 0,00	Tableau 6

$$SEER_{sys} = SEER_0 * (1 + f_S + f_R + f_{vol} + f_{mod})$$
$$SEER_{sys} = 7,20 * (1 + -0,01 + 0,00 + 0,03 + 0,00)$$
$$SEER_{sys} = 7,20 * 1,02$$
$$SEER_{sys} = 7,34$$

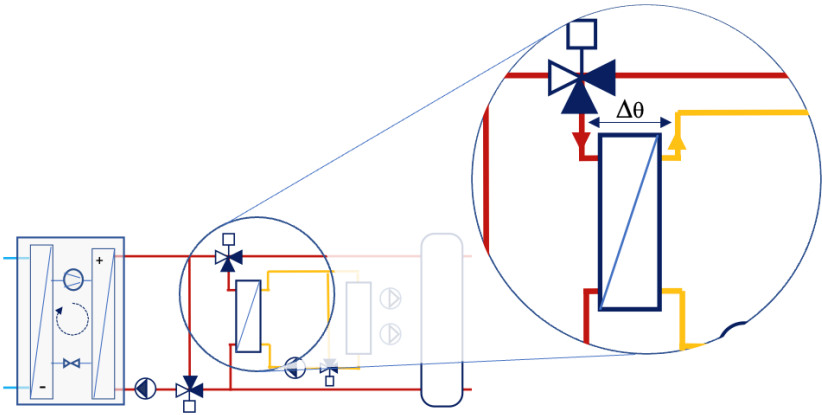
$$SEER_{sys} = 7,34$$
$$SEER_{ij} = 6,38 \quad (\text{voir tableau 1})$$

Le SEER_{min} correspond à la valeur la plus élevée, c'est-à-dire que la machine thermofrigorifique doit présenter un SEER_{min} d'au moins 7,34.

6.3 Efficacité de récupérateurs de chaleur

Dans le cas de récupérateurs de chaleur dans le circuit d'eau froide, le circuit d'eau chaude et le circuit d'eau de refroidissement (échangeur de chaleur secondaire et séparateur de système), l'écart de température au point de dimensionnement ne doit pas excéder 2 K.

Figure 4 Exemple: La différence de température maximale Δθ entre la température de l'eau chaude à l'entrée de l'échangeur de chaleur du post-refroidisseur et la température de sortie de l'eau de chauffage ne doit pas excéder 2 K.



6.4 Efficacité et comportement sous charge partielle

La machine thermofrigorifique fonctionne la plupart du temps dans une plage de charge partielle. L'installation de refroidissement doit donc travailler de manière hautement efficace lors du fonctionnement en charge partielle. Pour une meilleure efficacité lors du fonctionnement en charge partielle, il faut:

- une régulation continue (moins de mises en marche et d'arrêts),
- une machine thermofrigorifique avec plusieurs compresseurs (activation graduelle des différents compresseurs),
- un accumulateur de froid correctement dimensionné et conçu.

Des quantités d'eau variables passant par l'évaporateur et le condenseur augmentent en outre l'efficacité énergétique de machines thermofrigorifiques.

6.5 Efficacité des pompes de circulation

Lors du dimensionnement des pompes de circulation, il convient de prendre en compte les points décrits sous 8.5.

6.6 Sécurité de fonctionnement et efficacité énergétique dans les concepts d'installations

6.6.1 La sécurité de fonctionnement peut être augmentée grâce à une réalisation redondante:

- production de froid avec plusieurs machines (par ex. 2 x 70%),
- plusieurs compresseurs par machine,
- plusieurs circuits frigorifiques par machine,
- plusieurs refroidisseurs avec plusieurs ventilateurs,
- réaliser les pompes de circulation critiques de manière redondante (par ex. 2 x 70%).

Selon les exigences relatives à la sécurité de fonctionnement, les systèmes d'approvisionnement, de régulation et de distribution (par ex. armoires de commande, automatisation des bâtiments, distribution du froid, etc.) doivent être réalisés de manière redondante.

6.6.2 Autres mesures permettant d'augmenter la sécurité de fonctionnement:

- installer les machines dans des locaux séparés,
- alimentations électriques provenant de différentes distributions électriques,
- alimentation sans interruption (ASI) des composants principaux (par ex. commande de machines, éléments de sécurité),
- stocker des pièces de rechange critiques avec de longs délais de livraison (concertation judicieuse avec un organisme de service),
- évaluation des risques, concept pour un mode de fonctionnement d'urgence,
- établissement d'une priorisation des points de refroidissement en cas de défaillance partielle,
- prévoir une solution de refroidissement d'urgence (machines mobiles),
- entretien et nettoyage réguliers.

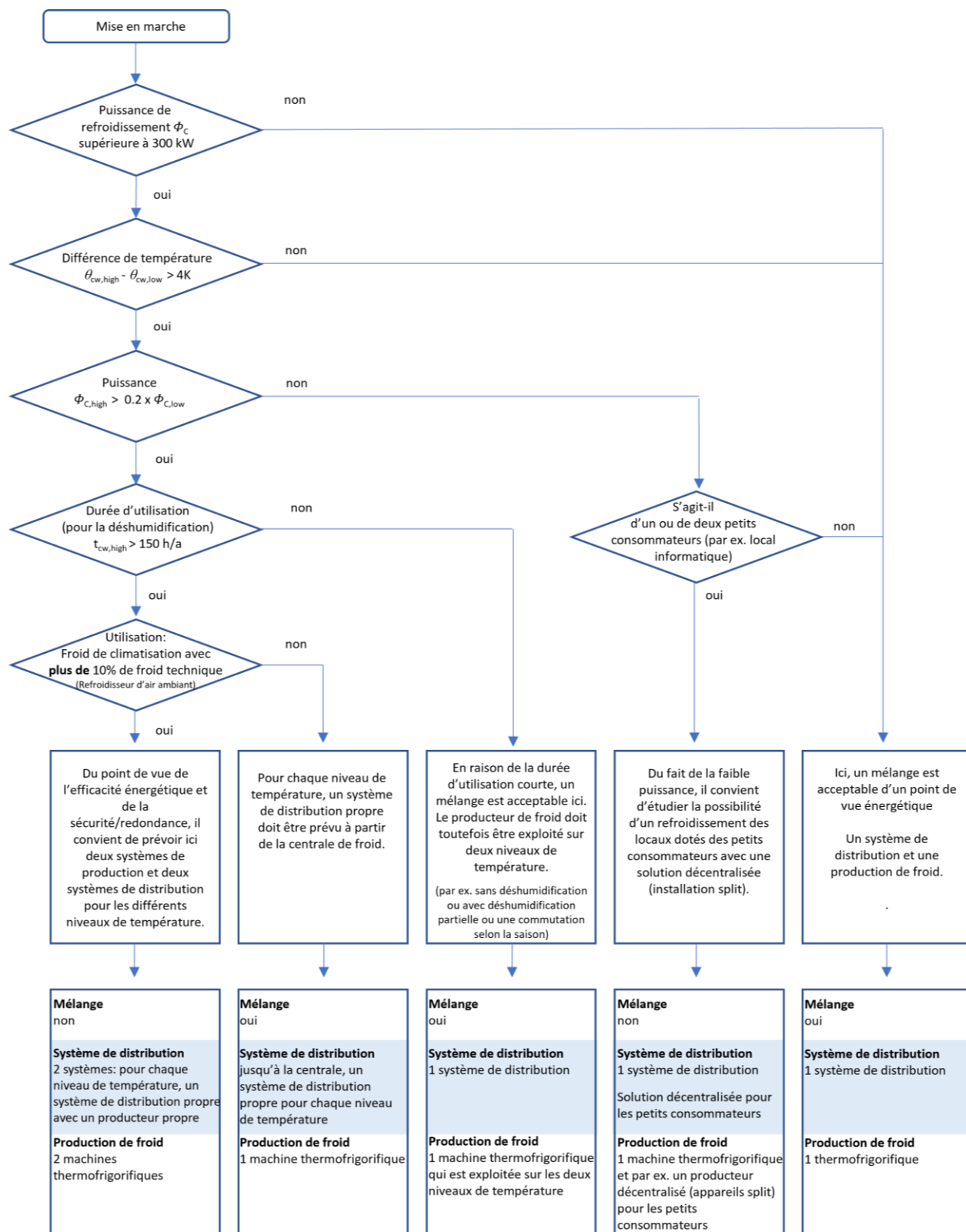
6.6.3 Températures d'eau froide différentes

L'eau froide doit généralement être produite directement au niveau de la température des consommateurs de froid. Un mélange de l'eau froide doit toujours être évité.

Les situations suivantes constituent des exceptions:

- la puissance de refroidissement est inférieure à 300 kW,
- la différence de température entre les groupes de consommateurs dans l'aller d'eau froide est de 4 K ou moins,
- la part de la puissance globale de l'eau froide à mélanger par rapport à la puissance de refroidissement globale de la machine thermofrigorifique représente moins de 20%,
- la durée d'utilisation de l'eau froide mélangée est inférieure à 150 heures par an.

Figure 5 Choix du système en cas de températures d'eau froide différentes

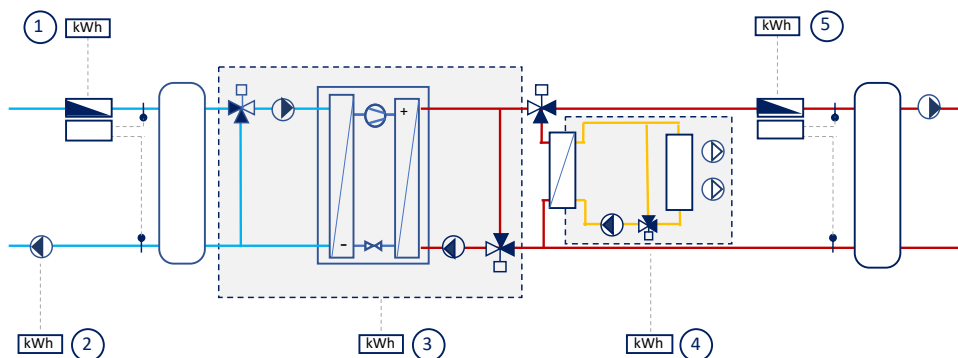


6.7 Monitoring

6.7.1 Bases pour le concept de mesure

L'instrumentation permanente minimale nécessaire de producteurs de froid est indiquée à la figure 6.

Figure 6 Instrumentation permanente de producteurs de froid



- 1: Compteur de chaleur pour le froid
- 2: Compteur d'électricité pompes de circulation
- 3: Compteur d'électricité machine thermofrigorifique (compresseur, réchauffeur de carter, pompes, commande, etc.)
- 4: Compteur d'électricité post-refroidisseur (ventilateurs, pompes de circulation, chauffage, commande, et)
- 5: Compteur de chaleur pour la chaleur (uniquement dans le cas de systèmes avec utilisation de la chaleur)

6.7.2 Instrumentation de mesure de machines thermofrigorifiques

Tableau 7 Instrumentations de mesure nécessaires dans le cas de machines thermofrigorifiques

Instrumentation		Puissance de refroidissement		
		jusqu'à 100 kW	100 à 350 kW	plus de 350 kW
		Énergie, eau et exploitation Les valeurs concernant l'énergie, la chaleur, la consommation d'eau et l'exploitation sont additionnées (compteurs).		
– Compteur de froid pour chaque groupe de consommateurs de froid (groupe de refroidissement)	kWh	--	oui	oui
– Compteur de froid pour chaque machine thermofrigorifique	kWh	oui ^{3, 6}	oui ^{3, 6}	oui ^{3, 6}
– Compteur de chaleur (en cas d'utilisation de la chaleur)	kWh	oui	oui	oui
– Compteur de chaleur (en cas de refroidissement gratuit)	kWh	--	--	oui
– Compteur d'électricité post-refroidisseur (avec exploitation free-cooling)	kWh	oui	oui	oui
– Compteur d'électricité machine thermofrigorifique	kWh	oui, à partir de 3 kW _{el}	oui	oui
– Compteur d'électricité dispositifs auxiliaires (mesure groupée) ¹	kWh	oui, à partir de 3 kW _{el}	oui, à partir de 3 kW _{el}	oui, à partir de 3 kW _{el}
– Compteur d'électricité pour dispositifs auxiliaires qui ne sont pas inclus dans la mesure groupée ²	kWh	oui, à partir de 3 kW _{el}	oui, à partir de 3 kW _{el}	Oui à partir de 3 kW _{el}
– Heures de service par compresseur	h	oui	oui	oui
– Impulsions de démarrage	Imp.	oui	oui	oui
– Consommation d'eau (post-refroidisseur)	m³	oui	oui	oui

Instrumentation	Puissance de refroidissement		
	jusqu'à 100 kW	100 à 350 kW	plus de 350 kW

Températures et pression				
Les mesures de température et de pression doivent être affichées ou enregistrées				
– Température aller circuit frigorifique	°C	afficher	afficher ⁵	enregistrer
– Température de retour circuit frigorifique	°C	afficher	afficher ⁵	enregistrer
– Température à la sortie de l'évaporateur	°C	afficher	afficher ⁵	enregistrer
– Température à l'entrée de l'évaporateur	°C	afficher	afficher ⁵	enregistrer
– Température à l'entrée du condenseur ⁴	°C	afficher	afficher ⁵	enregistrer
– Température à la sortie du condenseur ⁴	°C	afficher	afficher ⁵	enregistrer
– Température aller circuit de chaleur	°C	afficher	afficher ⁵	enregistrer
– Température de retour circuit de chaleur	°C	afficher	afficher ⁵	enregistrer
– Température à l'entrée et à la sortie du post-refroidisseur	°C	afficher	afficher ⁵	enregistrer
– Pression de service circuit frigorifique	bar	afficher	enregistrer	enregistrer
– Pression de service circuit de chaleur	bar	afficher	enregistrer	enregistrer

- (1) Tous les dispositifs auxiliaires de la machine thermofrigorifique qui peuvent être alimentés par la même unité d'approvisionnement de groupe et qui peuvent être mesurés avec un compteur électrique (mesure groupée).
- (2) Les dispositifs auxiliaires qui sont alimentés par différentes unités d'approvisionnement de groupe et qui ne peuvent pas être inclus dans la mesure groupée (par ex. si le post-refroidisseur sur le toit est alimenté en courant de manière indépendante par la machine thermofrigorifique située au sous-sol).
- (3) Les compteurs de froid doivent disposer d'un dispositif de stockage pour les valeurs mensuelles.
- (4) Il faut saisir soit la température à l'entrée, soit la température à la sortie du condenseur.
- (5) Il est recommandé d'enregistrer ces valeurs.

7 ACCUMULATEUR

7.1 Exigences envers l'accumulateur de froid

7.1.1 Généralités

Lors de la planification d'un accumulateur de froid, les points suivants doivent être pris en compte du point de vue de l'exploitation et du point de vue énergétique:

- La géométrie optimale de l'accumulateur (rapport hauteur/diamètre) est de 3 sur 1.
- Après l'entrée dans l'accumulateur, il convient de créer une zone de tranquillisation. Une tôle perforée et/ou une plaque déflectrice doivent être installées.
- Afin d'éviter un mélange dans l'accumulateur, la vitesse d'entrée dans l'accumulateur doit être inférieure à 0,1 m/s (règle générale: il convient de prévoir des pièces de raccordement dont les dimensions représentent 1 à 3 fois les dimensions de la conduite d'amenée).
Ou alors l'accumulateur doit être pourvu d'éléments intégrés qui empêchent un mélange (tôles perforées, tubes de pulvérisation, systèmes monocouche, etc.).
- Afin de pouvoir exploiter au mieux le volume de l'accumulateur, les raccords dans la partie supérieure doivent être réalisés avec un coude vers le haut et les raccords dans la partie inférieure avec un coude vers le bas.
- L'accumulateur doit être isolé en fonction de la température (voir 8.6.5).
- Entre l'accumulateur et le sol, une isolation thermique doit permettre d'empêcher la formation de condensation. Les anneaux-support doivent systématiquement être évités.
- Il convient de prévoir au moins 3 capteurs de température répartis sur la hauteur de l'accumulateur.

7.1.2 Principes relatifs au dimensionnement de l'accumulateur de froid

Le dimensionnement de l'accumulateur de froid dépend des facteurs suivants:

- comportement sous charge de la machine thermofrigorifique lors de la mise en marche et de l'arrêt des consommateurs,
- comportement de la machine thermofrigorifique lors de la mise en marche et de l'arrêt de la production de froid,
- type de construction de compresseur,
- nombre de compresseurs,
- type de régulation de la puissance,
- durée de fonctionnement minimale exigée du compresseur ou des compresseurs,
- intégration hydraulique des consommateurs de froid,
- intégration hydraulique de la production de froid,
- complexité du système de refroidissement.

L'annexe E indique comment déterminer la taille de l'accumulateur.

7.1.3 Stratification thermique dans l'accumulateur

Une bonne stratification dans l'accumulateur est importante pour l'efficacité de l'installation. Les vitesses de raccordement et les types de constructions sont d'une importance capitale et doivent être exécutés conformément à la directive SICC 2002-1 [26].

7.2 Exigences posées à l'accumulateur de chaleur

- 7.2.1 Le dimensionnement d'accumulateurs de chaleur à eau a lieu selon la directive SICC 2002-1 [26].
- 7.2.2 Lors du dimensionnement de l'accumulateur de chaleur, il faut en substance tenir compte des mêmes points que pour les accumulateurs de froid (voir 7.1).
- 7.2.3 Lors du dimensionnement de l'accumulateur de chaleur, l'interaction dynamique entre l'accumulateur et les consommateurs de chaleur doit être prise en compte. Lors d'une augmentation de la température du condenseur pour le fonctionnement en mode chauffage, il doit être possible, pendant la durée de fonctionnement minimale du compresseur, de transférer la chaleur de la machine thermofrigorifique à l'accumulateur et aux consommateurs (voir E.1.2.3).

8 DISTRIBUTION DU FROID

8.1 Généralités

8.1.1 Approvisionnement des consommateurs de froid

La distribution du froid doit être en mesure de dissiper la chaleur des consommateurs de froid raccordés.

8.1.2 Refroidissement passif des locaux

Un refroidissement passif des locaux extrait la chaleur de l'air intérieur par rayonnement et par convection naturelle, et la transmet à un système d'eau. Les systèmes suivants sont utilisés:

- plafonds rafraîchissants fermés,
- éléments libres dans le local (voiles de refroidissement, poutres froides, baffles de refroidissement, etc.),
- refroidissement par des systèmes de chauffage au sol,
- activation du noyau en béton (par ex. avec des ECTA).

8.1.3 Refroidissement actif des locaux

8.1.3.1 Un refroidissement actif des locaux extrait la chaleur de l'air intérieur grâce à un mouvement d'air généré mécaniquement, et la transmet à un système d'eau. Les systèmes suivants sont utilisés:

- refroidisseurs d'air ambiant, appareils pour appuis de fenêtres,
- installations de ventilation,
- plafond rafraîchissant avec air fourni intégré.

8.1.3.2 L'installation de ventilation doit permettre de garantir une bonne qualité de l'air intérieur. Les quantités d'air doivent être dimensionnées de telle manière que les exigences en matière d'hygiène selon SIA 382/1 soient satisfaites. Lors du dimensionnement de l'installation de ventilation, les quantités d'air pour l'évacuation des apports de chaleur ne doivent pas être augmentées en plus. Comparés aux systèmes de refroidissement à eau, les systèmes de refroidissement à air sont moins efficaces.

8.1.3.3 Si le fonctionnement de ventilation ordinaire n'a besoin que d'une partie de la quantité d'air (charge partielle) pour les exigences en matière d'hygiène selon SIA 382/1, la quantité d'air peut être augmentée jusqu'à 100% (pleine charge) et être ainsi utilisée pour le refroidissement des locaux.

8.1.4 Subdivision en groupes de froid

8.1.4.1 Un groupe de consommateurs de froid doit disposer de son propre circuit frigorifique régulé, dans la mesure où, en termes:

- de températures d'eau froide (voir 9.2 et 9.3),
 - de comportement thermique,
 - d'utilisation ou
 - de temps de fonctionnement,
- il se distingue des autres groupes de consommateurs de froid.

8.1.4.2 Les locaux techniques (par ex. local informatique) qui sollicitent moins de 20% de la capacité de refroidissement totale du bâtiment doivent être refroidis, si possible, avec la même température d'eau froide que les locaux restants. Une température d'eau froide trop basse conduit à une efficacité énergétique réduite de l'installation frigorifique dans son ensemble.

8.1.5 Matériaux et installation

Lors du choix des matériaux et de l'installation, il convient de tenir compte des facteurs suivants:

- température du fluide frigorigène,
- pression de service maximale,
- corrosion (condensation / eau de condensation, antigel, inhibiteurs, refroidisseurs ouverts),
- compatibilité des matériaux des différents composants (corrosion bimétallique / corrosion de contact),
- transmission du bruit (par ex. par la vitesse d'écoulement et pour des raisons mécaniques),
- comportement de dilatation thermique,
- tracé et protection des câbles (protection contre l'endommagement mécanique),
- possibilités d'inspection et de réparation,
- systèmes de fixation,
- comportement au feu et résistance au feu,
- sécurité parasismique,
- exploitation et maintenance, y compris remplissage, vidange et purge.

8.1.6 Protection contre l'eau de condensation

8.1.6.1 En raison des températures basses, de l'eau de condensation se forme sur des installations d'eau froide non isolées. Afin d'éviter des dommages (corrosion, dégâts des eaux), il convient de tenir compte des points suivants:

- Une isolation continue de tous les composants (conduites, robinetterie, pompes, etc.) doit être prévue.
- L'isolation doit être réalisée de manière hermétique à la diffusion de vapeur.
- Les ponts thermiques doivent être évités.
- Une distance suffisante doit être prévue entre les composants (conduites, robinetterie, pompes, etc.), de sorte que l'air puisse circuler entre eux sans entrave.
- Un contrôle du point de rosée de la température d'eau froide permet d'éviter la formation de condensation (par ex. plafonds rafraîchissants).

8.1.6.2 L'eau de condensation qui ne peut être évitée doit être collectée dans un bac collecteur et évacuée de manière contrôlée.

8.2 Eau froide

La qualité de l'eau froide doit être conforme à la directive SICC BT102-01 [29].

8.3 Frigoporteur (mélange d'eau et d'antigel)

Lors de l'utilisation de mélanges d'eau et d'antigel, il convient de respecter les spécifications du fabricant. Les points suivants doivent être pris en compte:

- Les mélanges d'eau et d'antigel sans additifs anticorrosion sont nettement plus corrosifs que l'eau pure.
- Les frigoporteurs contenant de l'antigel se distinguent par la qualité de l'antigel.
- Lors du choix du frigoporteur adapté, la norme ASTM d'essai de résistance à la corrosion [45] peut servir d'orientation.
- La concentration minimale du mélange dépend du produit et du matériau et se situe généralement aux alentours de 20%. Une concentration plus faible peut rendre le caloporteur chimiquement agressif.
- Si de l'antigel pur est ajouté dans un système qui est déjà rempli d'eau, l'antigel ne se mélange pas automatiquement avec l'eau.
- Lors de nouveaux remplissages, le pH et la concentration de l'inhibiteur doivent être contrôlés pour la première fois après 3 mois.
- Le contrôle de la qualité du mélange d'eau et d'antigel est effectué conformément à la directive SICC BT102-1 [29].
- L'élimination de l'antigel doit avoir lieu de façon coordonnée avec l'autorité environnementale locale. L'évacuation dans les canalisations n'est pas autorisée sans autorisation préalable écrite.
- Dans le cas de frigoporteurs inflammables, il convient de prendre en compte la directive de protection incendie AEA [41] et la directive CFST 1825 [36].

8.4 Systèmes hydrauliques d'émission de froid

8.4.1 Généralités

- 8.4.1.1 Les principaux circuits hydrauliques de base figurent à l'annexe H.
- 8.4.1.2 Conformément à l'état actuel de la technique, les systèmes d'émission de froid devraient travailler avec un débit volumique variable, afin que, même en cas de charge partielle, la température de retour soit la plus élevée possible.
- 8.4.1.3 Pour la distribution du froid, il convient de choisir des circuits hydrauliques permettant d'assurer une température de retour élevée (voir l'annexe H).
- 8.4.1.4 La vitesse de rotation de la pompe de circulation doit être commandée en fonction des besoins (par ex. en mesurant la pression différentielle ou en se basant sur la différence de température entre l'aller et le retour).

8.4.2 Circuits hydrauliques du système d'émission de froid

- 8.4.2.1 Il est préférable d'éviter des raccordements d'utilisateur avec débit volumique constant ainsi que l'utilisation de circuits de déviation et de circuits d'injection avec organe de régulation à trois voies.
Exceptions:
 - Régulations par point de rosée: Dans le cas de régulations par point de rosée, il convient de prévoir des circuits d'adjonction ou des circuits d'injection.
 - Déshumidification: L'intégration hydraulique de refroidisseurs d'air avec fonction de déshumidification doit être réalisée avec un circuit d'étranglement qui permet une réglage du débit. Les circuits d'adjonction ou les circuits d'injection ne sont pas adaptés dans ce cas.
- 8.4.2.2 L'intégration hydraulique de refroidisseurs d'air ambiant
 - doit être réalisée avec des vannes à deux voies motorisées (continue ou régulation à 3 points). Elles permettent un débit variable et par conséquent des températures de retour élevées en cas de charge réduite ou partielle.
 - ne doit pas être réalisée avec des vannes à deux voies simples (ouvert/fermé), car en cas de charge réduite ou partielle, celles-ci conduisent à des températures de retour basses qu'il convient d'éviter.
 - ne doit pas être réalisée avec des vannes de déviation, car ce circuit entraîne des températures de retour basses.

8.4.3 Dimensionnement du réseau hydraulique

Le dimensionnement du réseau hydraulique est réalisé selon SIA 384/1:2022, chiffre 5.3.4.

8.4.4 Équilibrage hydraulique

L'équilibrage hydraulique est réalisé selon SIA 384/1:2022, chiffre 5.3.5.

8.4.5 Intégration hydraulique de la machine thermofrigorifique

Dans le cas de machines thermofrigorifiques avec un compresseur à régulation continue, le débit massique par le biais de l'évaporateur et du condenseur doit également être exploité de manière variable. Il ne faut pas descendre en dessous des débits volumiques minimaux selon les spécifications du fabricant.

8.4.6 Régulation de la machine thermofrigorifique

- 8.4.6.1 Les points suivants doivent être pris en compte lors de la régulation de la machine thermofrigorifique:
- La puissance du compresseur est déterminée sur la base de la température à la sortie de l'évaporateur.
 - La valeur de consigne de la température à la sortie de l'évaporateur est décalée en fonction de la demande du consommateur.
 - Le débit côté chargement de l'accumulateur doit de préférence être supérieur de 5% à 10% au débit du côté déchargement de l'accumulateur.
 - La machine thermofrigorifique est mise en marche et arrêtée par le biais de différentes sondes d'accumulateur.
 - Les limites d'utilisation spécifiées par le fabricant de la machine thermofrigorifique (températures d'entrée et de sortie, débits, etc.) doivent être respectées.
- 8.4.6.2 Les points suivants doivent être pris en compte lors de la régulation du post-refroidissement:
- Le post-refroidisseur régule sa puissance sur la base de la température à la sortie du post-refroidisseur.
 - Pour que la machine thermofrigorifique fonctionne le plus efficacement possible, la température à la sortie du post-refroidisseur doit être décalée en fonction de la température extérieure.

8.5 Choix de la pompe de circulation

- 8.5.1 Les pompes de circulation doivent être dimensionnées de sorte qu'elles puissent amener la quantité d'eau nécessaire vers la machine thermofrigorifique.
- 8.5.2 Afin de maintenir le flux de la pompe à un niveau aussi bas que possible, il convient de viser une différence de température de 6 K entre l'aller et le retour.
- 8.5.3 Dans le cas de systèmes avec des mélanges d'antigel, les propriétés physiques modifiées du frigoporteur doivent être prises en compte lors du dimensionnement des pompes de circulation.
- 8.5.4 Lors du dimensionnement de pompes de circulation, il faut en outre prendre en compte les points suivants:
- Dans le cas d'installations présentant un débit volumique variable, la pompe de circulation doit être dimensionnée de telle manière que le rendement optimal soit obtenu dans le cas de figure le plus fréquent de l'exploitation (voir figure 7).
 - Dans le cas d'installations avec débit volumique constant, le point de dimensionnement se situe au niveau du rendement optimal (voir figure 8).
 - La puissance d'entraînement électrique doit être réduite au minimum.
 - Il faut une mise en marche / un arrêt automatiques.
 - La hauteur statique du côté arrivée de la pompe de circulation doit être conforme aux spécifications du fabricant de la pompe, afin d'éviter un phénomène de cavitation ³.
- L'utilisation de plusieurs pompes montées en parallèle améliore la sécurité de fonctionnement dans le cas de plus grandes installations et permet d'obtenir un meilleur rendement global.

³ Formation de bulles de vapeur pouvant entraîner un endommagement de la pompe et des bruits.

Figure 7 Dimensionnement à vitesse de rotation variable

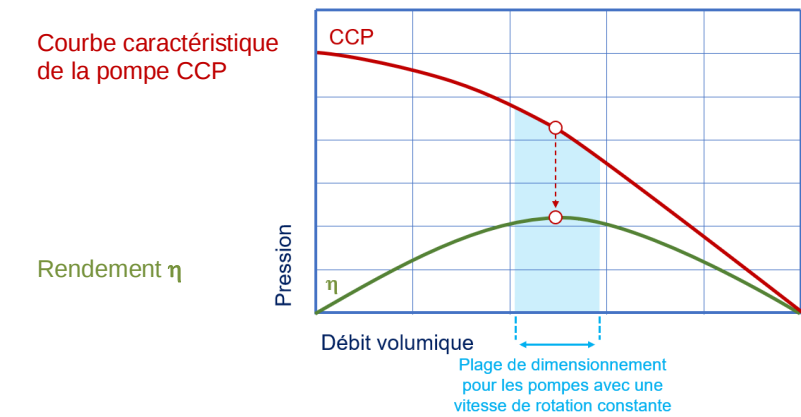
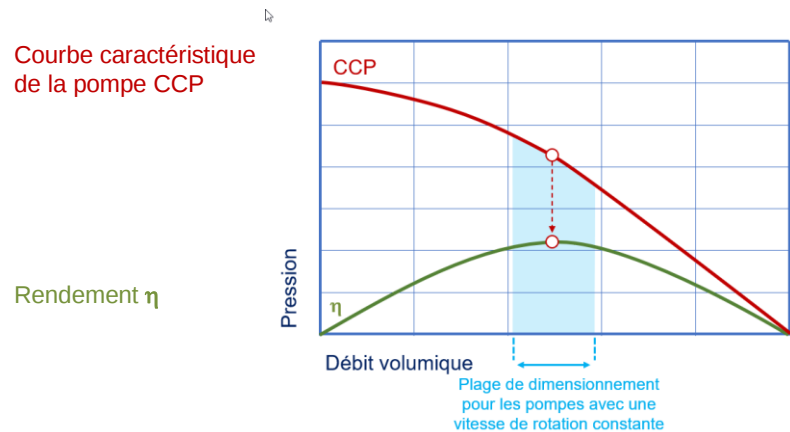


Figure 8 Dimensionnement à vitesse de rotation constante



- 8.5.5 Dans le cas de réseaux très étendus et d’une puissance électrique absorbée supérieure à 1 kW, il convient d’envisager l’utilisation d’une mesure extérieure de la pression différentielle pour la régulation de la pompe de circulation (par ex. à l’extrémité de la branche la moins favorable).
- 8.5.6 La puissance spécifique de la pompe P_{sp} prend en compte le rendement de la pompe et la perte de pression dans des conditions de fonctionnement normales. La puissance absorbée de pompes de circulation dans des systèmes de distribution de froid qui approvisionnent des systèmes d’émission de froid doit être conforme à l’exigence selon la figure ou 10. Ces figures sont uniquement valables pour le fluide eau.

Figure 9 Puissance électrique absorbée maximale autorisée pour les pompes de circulation sans presse-étoupe

q	P_{sp}
m ³ /h	W/(m ³ /h)
1	16
2	18
5	19
10	20
15	21
20	23
30	25
40	27

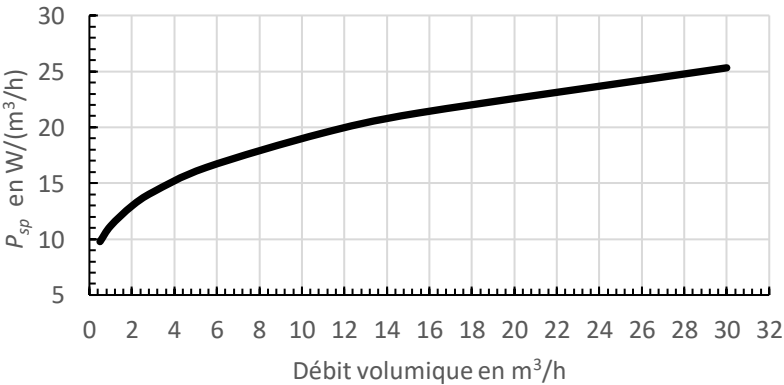
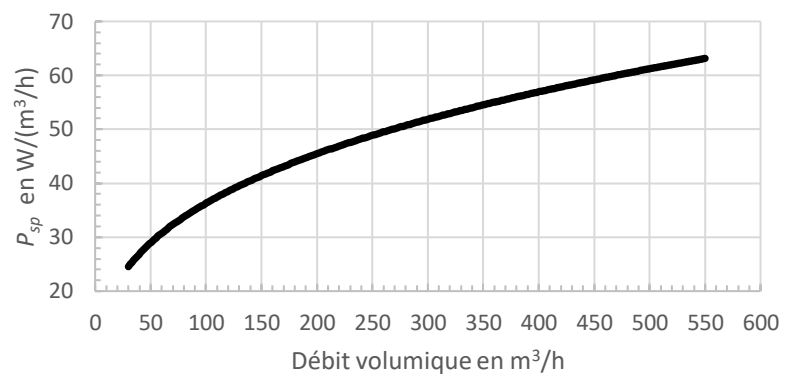


Figure 10 Puissance électrique absorbée maximale autorisée pour les pompes de circulation à moteur ventilé

q	P_{sp}
m ³ /h	W/(m ³ /h)
20	21
25	23
30	24
40	27
80	33
160	42
275	50
430	57



8.6 Isolation d'installations frigorifiques

8.6.1 Généralités

- 8.6.1.1 Tous les composants d'une distribution de froid doivent être pourvus sur toute leur longueur d'une isolation thermique.
- 8.6.1.2 Tous les éléments de l'installation frigorifique (conduites de froid, robinetteries, appareils, pompes, etc.) doivent être isolés de sorte qu'aucune condensation ne puisse se former sur les surfaces.
- 8.6.1.3 L'isolation thermique doit être continue et complète. Les systèmes de distribution de froid, les formes et le type de robinetteries et de pompes de circulation ainsi que les distributeurs, les raccordements d'appareils et les liaisons équipotentielles doivent être choisis et disposés de façon à permettre la pose de l'isolation thermique.
- 8.6.1.4 Les systèmes d'isolation (matériaux isolants et enveloppes) utilisés doivent être résistants à l'humidité, ainsi qu'aux influences chimiques, mécaniques et biologiques. Il faut prendre en compte leur impact environnemental.
- 8.6.1.5 L'isolation ne protège pas les éléments des installations contre la corrosion. Dans le cas d'isolations thermiques, les éléments d'installation doivent être protégés contre la corrosion ou être conçus en acier inoxydable austénitique. Le planificateur décide de la nécessité de protéger l'installation contre la corrosion. La protection contre la corrosion n'est pas partie intégrante de l'isolation. Toutefois, certains systèmes d'isolation choisis peuvent présenter une protection supplémentaire contre la corrosion qui peut être reprise. La protection contre la corrosion doit être compatible avec les matériaux isolants et les colles du système d'isolation.
- 8.6.1.6 Lors de la pose de l'isolation, il convient de respecter les exigences spécifiques au local en matière de protection incendie, conformément à la directive de protection incendie AEAI [40].
- 8.6.1.7 Les ponts thermiques doivent systématiquement être évités dans le cas des installations frigorifiques. Points devant plus particulièrement être prise en compte: sondes, fixations, pieds d'accumulateur de froid, doigts de gant, drains, événements, etc.
- 8.6.1.8 La qualité des pare-vapeurs conditionne la durée de vie d'une isolation. Les pare-vapeur comportent une ou plusieurs couches ou un ou plusieurs matériaux isolants hautement résistants à la diffusion de vapeur d'eau. Les pare-vapeur contrecollés entourent intégralement les matériaux isolants et réduisent ainsi la quantité d'humidité qu'ils absorbent par diffusion de vapeur.

8.6.2 Isolation du système de distribution de froid

- 8.6.2.1 En l'absence de législation cantonale, le système de distribution de froid doit présenter une épaisseur d'isolation minimale, conformément au tableau 8 (pour $\lambda \leq 0,037 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ et à $+10^\circ\text{C}$).

Tableau 8 Épaisseurs d'isolation minimales (en mm) pour les systèmes de distribution de froid dans les installations frigorifiques avec ≤ 4000 heures de disponibilité par an (utilisation exclusive en été) et en fonction des températures aller de service en cas de dimensionnement

Température aller eau froide	Dimensions de tuyau													
	DN 10	DN 15	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200	
	épaisseur d'isolation minimale en mm													
6 °C	19			25				32			38		50	
10 °C	19							25		32			38	
14 °C	19								25				32	
18 °C	19												25	

Concernant les températures intermédiaires, il convient de se conformer aux épaisseurs d'isolation de chaque température inférieure.

Tableau 9 Épaisseurs minimales d'isolation (en mm) pour les systèmes de distribution de froid dans les installations frigorifiques avec plus de 4000 heures de disponibilité par an (utilisation pendant toute l'année) et en fonction des températures aller de service en cas de dimensionnement

Température aller eau froide	Dimensions de tuyau													
	DN 10	DN 15	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200	
	épaisseur d'isolation minimale en mm													
6 °C	25			32			38	50						
10 °C	19	25		32			38			50				
14 °C	19		25		32			38			50			
18 °C	19				25			32			38			

Concernant les températures intermédiaires, il convient de se conformer aux épaisseurs d'isolation de chaque température inférieure.

- 8.6.2.2 Le retour doit être isolé avec la même épaisseur d'isolation que l'aller.
- 8.6.2.3 Les épaisseurs d'isolation minimales peuvent être réduites aux intersections et traversées de murs et de dalles ainsi que sur les robinetteries, les pompes, etc. à condition que la protection contre la condensation soit assurée.

8.6.3 Isolation accumulateur de froid

- 8.6.3.1 Les accumulateurs de froid dont les températures de service (température aller) se situent entre 6°C et 18°C doivent être isolés au moyen de caoutchouc synthétique ($0,03 \leq \lambda \leq 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, à $+10^\circ\text{C}$) ou d'un matériau équivalent (voir Feuillet d'information [55]), conformément au tableau 10:

Tableau 10 Épaisseurs d'isolation minimales de l'accumulateur de froid en mm

Température aller eau froide	épaisseur d'isolation minimale en mm
6 °C à 10 °C inclus	80
à partir de 10 °C jusqu'à 14 °C inclus	50
à partir de 14 °C	38

- 8.6.3.2 Afin d'éviter des problèmes dus à la formation de condensation, les accumulateurs qui sont isolés sur place doivent disposer de pieds et ne doivent pas être placés sur un anneau-support. Cependant, les accumulateurs peuvent par exemple être placés sur un anneau-support s'ils sont livrés avec une isolation en mousse fabriquée à l'usine et si le fabricant garantit ainsi qu'aucune condensation ne se forme.

8.7 Protection contre le gel

- 8.7.1 La plupart des systèmes de refroidissement basés sur l'eau disposent de composants et de conduites qui se trouvent en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment et qui doivent impérativement être protégés contre le gel.
- 8.7.2 Pour les systèmes de refroidissement qui fonctionnent pendant toute l'année, l'eau de refroidissement peut être protégée contre le gel avec les mesures suivantes:
- La totalité du circuit d'eau de refroidissement fonctionne avec un mélange d'eau et d'antigel.
 - Mise en place d'une séparation des systèmes et fonctionnement du circuit d'eau de refroidissement exposé au gel avec un mélange d'eau et d'antigel.
- 8.7.3 Les systèmes de refroidissement, qui sont arrêtés en cas de gel et dont l'eau de refroidissement n'est pas utilisée avec un mélange d'eau et d'antigel, peuvent être protégés contre le gel avec les mesures suivantes:
- circulation forcée,
 - chauffage autorégulé de protection contre le gel,
 - autovidange dans le cas de systèmes ouverts.

8.8 Décompte des coûts du froid

8.8.1 Installation de compteurs de froid

- 8.8.1.1 La distribution de froid doit être conçue de sorte que la consommation de froid par unité d'exploitation (habitation, local commercial, etc.) puisse être enregistrée individuellement.
- 8.8.1.2 S'il est renoncé dans un premier temps à l'installation d'appareils de mesure, il faut tout de même prévoir suffisamment d'espace et des tronçons de tuyauterie appropriés pour leur installation ultérieure. Il convient de tenir compte des rapports entrée/sortie.

8.8.2 Appareils nécessaires au décompte des coûts du froid

- 8.8.2.1 En matière d'obligation d'équipement et de décompte, il convient de tenir compte des éventuelles réglementations cantonales.
- 8.8.2.2 Pour le décompte des coûts du froid, il faut utiliser exclusivement des appareils contrôlés. Les compteurs de froid, d'eau et électriques doivent être conformes aux exigences des ordonnances de la Confédération [19] et [20].
- 8.8.2.3 Les appareils qui ne sont pas soumis à une obligation de vérification et pour lesquels il n'existe aucune réglementation contraignante au sujet de la précision de mesure doivent satisfaire aux recommandations de la brochure VEWA [56] concernant la précision des mesures et les marges d'erreur.

8.8.3 Mesures de planification concernant la facturation

Les nouvelles installations doivent être planifiées de sorte qu'une facturation directe de la consommation mesurée soit possible. Les tuyauteries traversantes (par ex. conduites approvisionnant d'autres destinataires de froid) doivent être isolées (voir 8.6.2).

9 SYSTÈME D'ÉMISSION DE FROID

9.1 Généralités

- 9.1.1 Dans le cas de nouvelles installations, seuls des composants d'émission de froid (plafonds rafraîchissants, poutres froides, baffles de refroidissement, refroidisseurs d'air ambiant, appareils pour appuis de fenêtres, etc.) présentant des températures du flux aller d'eau froide identiques au sein d'un groupe ou d'une zone de froid doivent être utilisés.
- 9.1.2 Dans le cas de systèmes de chauffage et de refroidissement combinés, la surface active de chauffage ou de refroidissement doit être dimensionnée par rapport au cas qui nécessite la surface présentant les dimensions les plus grandes.
Des mesures acoustiques et des éclairages peuvent être intégrés dans les plafonds chauffants et rafraîchissants combinés.

9.2 Réflexions conceptuelles concernant l'émission de froid

- 9.2.1 Tous les systèmes de refroidissement doivent être en mesure d'activer les masses correspondantes (plafonds, murs, sols) (voir SIA 180).
- 9.2.2 Il convient de choisir une température d'eau froide la plus élevée possible en cas de production de froid mécanique. Pour les applications de climatisation, les exigences du tableau 11 sont applicables:

Tableau 11 Températures d'eau froide minimales de systèmes de refroidissement

Système	Température d'eau froide θ_{cw}
– Refroidissement de confort (refroidissement de surface)	supérieur à 18 °C
– Refroidissement sans déshumidification	14 à 18 °C
– Refroidissement avec déshumidification partielle	10 à 14 °C
– Refroidissement avec déshumidification contrôlée	6 à 10 °C

- 9.2.3 Les mesures permettant d'atteindre le confort thermique sont réglementées dans SIA 180.

9.3 Dimensionnement du système d'absorption de chaleur (système de refroidissement)

9.3.1 Système de refroidissement de surface dans le domaine de la climatisation de confort

- 9.3.1.1 Lors de l'exploitation de systèmes de refroidissement de surface, il convient de veiller à ce qu'il n'y ait pas de formation de condensation sur leurs surfaces.
- 9.3.1.2 Les systèmes de refroidissement de surface dans le domaine de la climatisation de confort ne doivent pas présenter des températures d'eau froide inférieures à celles énumérées dans le tableau 12:

Tableau 12 Températures d'eau froide minimales pour systèmes de refroidissement de surface

Système	Température d'eau froide θ_{cw}
– Plafonds rafraîchissants	18 °C
– Plafonds rafraîchissants avec ventilation partiellement déshumidifiée	16 °C
– Systèmes de composants thermoactifs	19 °C
– Refroidissement par le sol avec détecteurs de points de rosée, qui refroidissent au moyen d'une courbe de refroidissement avec un point de base	19 °C
– Refroidissement par le sol avec détecteurs de points de rosée, qui refroidissent au moyen d'une valeur constante	20 °C

9.3.2 Systèmes de refroidissement d'air

- 9.3.2.1 Les systèmes de refroidissement d'air doivent être utilisés de telle manière qu'aucune condensation ne se forme sur leurs surfaces (prise en compte du point de rosée). Sinon, la condensation (eau de condensation) doit être évacuée.
- 9.3.2.2 Les systèmes de refroidissement d'air dans le domaine de la climatisation de confort ne doivent pas présenter des températures d'eau froide inférieures à celles énumérées dans le tableau 13:

Tableau 13 Températures d'eau froide minimales pour systèmes de refroidissement d'air

Système	Température d'eau froide θ_{cw}
– Convecteurs de climatisation	16 °C
– Appareils de refroidissement à circulation d'air	16 °C
– Refroidisseurs d'air dans des installations de ventilation	14 °C

- 9.3.2.3 Dans les exceptions suivantes, il ne faut pas descendre en dessous de la température d'eau froide minimale de 16 °C ou de 14 °C:
- si une température d'eau froide de 16 °C ou de 14 °C est économiquement déraisonnable (par ex. en cas de perte importante de pression dans le registre de froid de l'installation de climatisation et/ou en cas d'apports de chaleur substantiels),
 - dans le cas d'une déshumidification partielle (installation de climatisation avec des plafonds rafraîchissants),
 - en cas d'application de climatisation avec déshumidification contrôlée.

9.3.3 Batterie de refroidissement dans des installations de ventilation

Le dimensionnement et l'utilisation de batteries de refroidissement dans des appareils de ventilation sont définis dans SIA 382/1.

9.3.4 Refroidissement de locaux individuels

S'il est nécessaire de refroidir de petits locaux individuels (par ex. des locaux de serveurs), le système de refroidissement doit être exploité avec la même température d'eau froide que le système global. Si des températures d'eau froide plus basses devaient être nécessaires, par exemple pour une déshumidification partielle de l'air, une solution de refroidissement décentralisée doit alors être étudiée (par ex. avec un climatiseur split efficace).

9.3.5 Calcul des surfaces de refroidissement nécessaires

Le calcul et l'utilisation des surfaces de refroidissement sont réglementés dans la directive SICC RE600-01 [32].

9.3.6 Extension d'installations existantes

Les températures d'eau froide minimales selon le tableau 10 doivent également être prises en compte lors du dimensionnement d'extensions d'installations existantes ou lors du remplacement de surfaces de refroidissement individuelles.

10 SYSTÈMES D'UTILISATION DE LA CHALEUR

10.1 Généralités

- 10.1.1 S'il existe un besoin de chaleur dans le bâtiment (chauffage, eau chaude, ventilation, eau de traitement, etc.), pendant que la machine thermofrigorifique est en fonctionnement, la chaleur doit être utilisée selon l'annexe A.
- 10.1.2 La gestion judicieuse de la chaleur provenant de la machine thermofrigorifique découle conceptuellement toujours du besoin de chaleur du bâtiment. Les points suivants doivent être clarifiés:
- températures des consommateurs de chaleur,
 - énergie thermique nécessaire basée sur la puissance et la durée,
 - moment du besoin de chaleur (besoin simultané).
- 10.1.3 Si la chaleur ne peut pas être utilisée le même jour, il convient d'étudier la possibilité d'un stockage dans un accumulateur de chaleur jusqu'au jour suivant ou d'un stockage saisonnier, par exemple au moyen de sondes géothermiques. Si toutefois de telles solutions de stockage ne devaient pas être possibles, il convient de se demander de quelle façon la chaleur émise par la machine thermofrigorifique peut être évacuée efficacement.

10.2 Utilisation de la chaleur

- 10.2.1 La récupération de la chaleur des machines thermofrigorifiques doit toujours être réalisée à la température la plus basse possible. À cet effet, il convient de respecter les points suivants:

Les consommateurs de chaleur ont besoin de températures aller

- inférieures à 35 °C:

La chaleur peut généralement être extraite du condenseur sans avoir à procéder à des adaptations techniques majeures. Peu importe qu'on utilise 20% ou 100% de la chaleur.

- supérieures à 35 °C et une petite partie seulement de la chaleur peut être utilisée:

Il convient de vérifier si la chaleur peut être récupérée avec un désurchauffeur. Le type de construction de la machine thermofrigorifique ainsi que le fluide frigorigène déterminent le niveau de température de la chaleur provenant du désurchauffeur et le pourcentage (3% à 15%) d'énergie thermique pouvant effectivement être récupéré.

- de 35 °C à 50 °C:

Pour le «mode chauffage», la température de condensation peut être augmentée (voir 10.2.2). Il est important que la température aller de l'utilisation de la chaleur soit également régulée en fonction de la température de l'air extérieur. Il est possible aujourd'hui d'atteindre des températures aller de 50 °C avec la plupart des fluides frigorigènes dans le domaine de la climatisation. Le niveau d'augmentation effectif de la température de condensation dépend dans chaque cas du fluide frigorigène.

- supérieures à 60 °C:

Selon le fluide frigorigène, la température de condensation peut être augmentée pour le «mode chauffage». Ou alors on prévoit une deuxième machine thermofrigorifique dimensionnée pour les températures élevées. Différentes solutions sont indiquées à l'annexe F.

- 10.2.2 Pendant le «mode chauffage», 100% de la chaleur doivent être utilisés. Le cas échéant, l'accumulateur de chaleur doit être dimensionné de manière appropriée, de façon à ce qu'il puisse être chargé pendant environ 30 minutes avec la puissance nominale de la machine thermofrigorifique. Une fois le «mode chauffage» terminé, il faut en outre s'assurer que la température de condensation soit de nouveau réduite à un «mode post-refroidissement» bon sur le plan énergétique.

10.3 Post-refroidisseur

10.3.1 Généralités

L'annexe I décrit les principaux systèmes de post-refroidissement et contient des exigences, des recommandations et des informations.

10.3.2 Dimensionnement des post-refroidisseurs

10.3.2.1 Les post-refroidisseurs doivent être dimensionnés conformément à la directive SICC Post-refroidissement [27].

10.3.2.2 Outre le bon dimensionnement du post-refroidisseur, il convient de prendre en compte les points suivants:

- Les températures d'eau de refroidissement doivent être aussi basses que possible (voir le tableau 11). Il convient de respecter les températures recommandées dans le tableau 14.
- La température à la sortie du post-refroidisseur doit être régulée en fonction de la température extérieure.

Tableau 14 Détermination de la différence de température maximale entre la sortie de l'eau de refroidissement et l'entrée de l'air extérieur de différents systèmes de post-refroidissement

Système de post-refroidissement	Détermination de $\Delta\theta$ entre	Différence de température $\Delta\theta$
– Sec (lamelles)	Température de sortie de l'eau de refroidissement de bulbe sec ¹	– Température max. 6 K ⁴
– Humide (tour de refroidissement)	Température de sortie de l'eau de refroidissement de bulbe humide ¹⁺²	– Température max. 6 K ⁴
– Hybride	Température de sortie de l'eau de refroidissement de bulbe humide ¹⁺²	– Température max. 6 K ⁴
– Adiabatique	Température de sortie de l'eau de refroidissement de bulbe sec ¹⁺³	– Température max. 6 K ⁴

¹ Température au point de dimensionnement en plein été, selon SIA 2028

² La température de bulbe humide déterminante figure dans SIA 2028:2010, tableau 8a, Données de dimensionnement pour appareils de refroidissement dans l'air extérieur, colonne: Dimensionnement de l'appareil de refroidissement.

³ Au niveau du point de dimensionnement, la température de bulbe sec de l'air est réduite d'env. 5 K par le système adiabatique. À une température de bulbe sec de 34°C par exemple, le post-refroidisseur est dimensionné par rapport à une température d'entrée d'air de 29°C. Dans ce cas, la température de sortie de l'eau de refroidissement s'élève au maximum à 35 °C (29 °C + 6 K).

⁴ Dans les espaces restreints, la différence de température maximale de $\Delta\theta$ peut être augmentée au maximum de 2 K à 8 K dans des cas justifiés.

10.3.2.3 Lors du dimensionnement, l'altitude d'installation (mètres au-dessus du niveau de la mer) doit être prise en considération.

10.3.2.4 Lors du dimensionnement, le bruit doit être pris en compte (voir 10.3.7).

10.3.3 Spécifications en matière d'hygiène

10.3.3.1 Les spécifications en matière d'hygiène concernant les post-refroidisseurs sont décrites dans la directive SICC prRE200-02 [33].

10.3.3.2 Dans le cas d'installations de post-refroidissement à évaporation (tour de refroidissement, post-refroidisseurs à sec hybrides et adiabatiques), les spécifications en matière d'hygiène de l'eau [59] doivent également être respectées.

10.3.3.3 Les systèmes de post-refroidissement, et plus particulièrement les systèmes avec pulvérisation, peuvent former de fines gouttelettes. Celles-ci peuvent être contaminées biologiquement (par ex. légionelles) ou chimiquement (par ex. biocides) et elles peuvent être nocives.

10.3.4 Protection anticorrosion

- 10.3.4.1 Dans le cas d'installations de post-refroidissement à évaporation, toutes les surfaces humides doivent être protégées contre la corrosion.
- 10.3.4.2 Concernant les installations de post-refroidissement à évaporation travaillant avec un circuit d'eau ouvert (systèmes de tapis, systèmes d'arrosage, systèmes de pulvérisation), tous les composants (conduites, pompes, bacs de récupération) doivent être résistants à la corrosion.
- 10.3.4.3 Dans le cas de tours de refroidissement ouvertes, tous les appareils (condenseurs/récupérateurs de chaleur, conduites, pompes, bacs de récupération) qui sont raccordés au système doivent être résistants à la corrosion.

10.3.5 Eau et qualité de l'eau

- 10.3.5.1 Les exigences envers la qualité de l'eau sont spécifiées par le fabricant. Il s'agit par ailleurs de respecter la directive SICC BT 102 [29].
- 10.3.5.2 Pour toutes les applications impliquant de l'eau de refroidissement, la protection contre le gel doit être assurée. Cela peut être réalisé grâce à un chauffage et/ou à une vidange.
- 10.3.5.3 Il convient d'utiliser l'eau potable avec une grande parcimonie.

10.3.6 Lieu d'installation du post-refroidisseur

- 10.3.6.1 Le lieu d'installation du post-refroidisseur a une influence considérable sur l'efficacité énergétique et sur la sécurité de fonctionnement de l'installation de refroidissement. Une température d'aspiration d'air la plus basse possible du post-refroidisseur constitue un aspect essentiel lors du choix du lieu d'installation. Il faut tenir compte des points suivants:
 - L'air en circulation doit pouvoir entrer et sortir librement, des courts-circuits d'air doivent être évités.
 - Lorsqu'il y a plusieurs appareils, les distances minimales entre eux doivent être respectées. Les post-refroidisseurs ne doivent pas s'influencer mutuellement.
 - Le rayonnement solaire provoque un réchauffement des surfaces autour de l'appareil, ce qui entraîne des températures d'entrée de l'air plus élevées. Les distances avec les murs et les sols doivent être respectées, tout comme la couleur de la surface.
 - Pour la couleur du support et des murs, la règle est la suivante: les surfaces de couleur zinc réfléchissent la chaleur du soleil et sont donc très bien adaptées. Par contre, un support noir, comme par exemple un toit plat en bitume, doit être évité dans la mesure du possible.
 - En ce qui concerne le choix des matériaux du support, les surfaces de toit largement végétalisées (sans fleurs, etc.) sont idéales. Les supports qui stockent la chaleur (gravier, ciment, etc.) doivent être évités.
- 10.3.6.2 Autres points importants devant être pris en compte lors du choix du lieu d'installation du post-refroidisseur:
 - Le poids: des tours de refroidissement particulières et des post-refroidisseurs à sec hybrides occasionnent des charges nettement plus élevées (en kg/m²) que les post-refroidisseurs à sec.
 - Exigences de la protection des eaux: selon le lieu d'installation, un bac de protection est exigé.
 - Un drainage doit être prévu pour tous les systèmes de post-refroidissement humides et pour les systèmes de post-refroidissement secs dotés des bacs de récupération prescrits.
Selon la commune, l'eau qui est évacuée dans le siphon de sol est classifiée en tant qu'eau météorique ou eau usée et elle doit être traitée de manière appropriée. Le cas échéant, des bacs de récupération supplémentaires sont nécessaires.
 - L'eau de purge épaissie après l'évaporation doit être éliminée dans les règles de l'art.

10.3.7 Bruit

- 10.3.7.1 En ce qui concerne le bruit, les spécifications de l'Ordonnance sur la protection contre le bruit [11] et de la commune doivent être respectées.
- 10.3.7.2 Une attention particulière doit être accordée au principe de précaution qui est décrit dans la Loi fédérale sur la protection de l'environnement [16]. Celle-ci exige que, dans le cadre de la précaution, les émissions doivent être limitées autant que possible sur le plan technique et sur le plan de l'exploitation, et autant que cela est économiquement supportable.
- 10.3.7.3 Le bruit solidien doit être pris en considération (ventilateur radial, pompes d'humidification, bruits d'humidification, vibrations).

10.3.7.4 Afin de maintenir les émissions sonores à un faible niveau, les ventilateurs doivent automatiquement fonctionner avec une vitesse de rotation inférieure en cas de températures extérieures basses, et surtout la nuit. Il faut prévoir pour cela les appareils de régulation adéquats.

10.3.8 Protection contre la foudre et contre les surtensions pour le post-refroidisseur

10.3.8.1 Le post-refroidisseur doit être intégré dans le concept de protection contre la foudre.

10.3.8.2 Il convient de prévoir une protection contre les surtensions pour protéger le réseau.

10.3.9 Exploitation et maintenance

10.3.9.1 Seuls les post-refroidisseurs propres et entretenus travaillent de manière efficace sur le plan énergétique et sans pannes.

10.3.9.2 Une maintenance effectuée régulièrement doit permettre de garantir que les exigences en matière d'hygiène seront satisfaites (par ex. prévention de la formation de légionelles dans l'eau de circulation, voir également [59]).

10.3.9.3 Les post-refroidisseurs doivent être nettoyés et entretenus au moins une fois par an. Dans le cas de lieux d'installations fortement pollués (gaz d'échappement de moteurs diesel, vapeurs de graisse, etc.), les post-refroidisseurs doivent être nettoyés plus fréquemment.

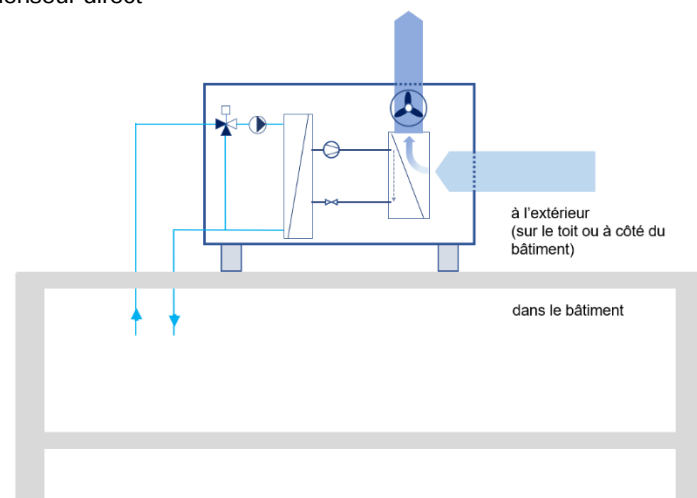
10.3.9.4 Les systèmes d'eau peuvent nécessiter un entretien important et occasionner des coûts de l'eau considérables. Cela doit être pris en compte lors de l'évaluation des coûts d'exploitation et de maintenance.

10.4 Systèmes de condenseur direct (installations compactes)

10.4.1 Les systèmes de condenseur direct sont des installations frigorifiques compactes qui sont installées sur le toit ou à côté du bâtiment. Ils sont soumis aux mêmes spécifications que les post-refroidisseurs (voir 10.3). De plus, les points suivants doivent être pris en considération pour les condenseurs directs (voir figure 11):

- bruit solide des compresseurs,
- respect des distances de sécurité nécessaires, en particulier dans le cas de fluides frigorigènes inflammables et/ou toxiques,
- accès protégé (protection des personnes et protection incendie),
- distances par rapport aux siphons de sol et par rapport aux installations de ventilation, en particulier dans le cas de fluides frigorigènes inflammables et/ou toxiques,
- mise en place de l'armoire de commande (protection contre les projections d'eau, accès sécurisé).

Figure 11 Condenseur direct



10.4.2 Dans le cas de versions split (les condenseurs et les évaporateurs sont fournis sous forme d'unités séparées et reliés au moyen de conduites de fluide frigorigène), il convient de prévoir des conduites de raccordement les plus courtes possible (quantité de remplissage de fluide frigorigène, sécurité).

11 RÉGULATION, COMMANDE ET SURVEILLANCE DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

11.1 Généralités

11.1.1 Exigences de base en termes de régulation et de commande

- 11.1.1.1 Les exigences de base en termes de régulation, de commande et de surveillance d'installations frigorifiques et leur planification sont décrites dans SN EN 15232-1, et les prestations des ingénieurs spécialisés en gestion technique du bâtiment dans la directive SICC BA101-01 [28].
- 11.1.1.2 Les fonctions relatives à la sécurité de la gestion technique du bâtiment ne sont pas traitées dans la présente norme.
- 11.1.1.3 Le planificateur de l'installation est responsable de l'établissement dans le projet de construction d'un concept de sécurité, dans lequel les responsabilités sont définies. En outre, il convient de définir le personne responsable de toute la chaîne de sécurité.

11.1.2 Tâches de la régulation et de la commande de l'installation frigorifique

- 11.1.2.1 La régulation et la commande assurent que l'installation maintienne la température dans les locaux à une certaine valeur prédéfinie par le consommateur, et ce même sous l'influence d'apports de chaleur internes et externes.
- 11.1.2.2 La régulation doit faire fonctionner une installation de sorte qu'il en résulte une consommation d'énergie primaire la plus faible possible en respectant les exigences.

À cet effet, il convient de respecter les points suivants:

- Exploiter une plage de température En cas d'utilisations sans spécifications de températures, la régulation du refroidissement mécanique doit maintenir la température ambiante dans une plage de température de 24 °C à 26 °C.
La plage de température permet la libération précoce du refroidissement. Il est ainsi possible d'éviter des sauts de température nécessaires en cas de dépassement de la température de consigne à 26 °C ainsi qu'un surdimensionnement de la machine thermofrigorifique afin de couvrir le pic de charge.
- Utiliser la masse de stockage Si la masse de stockage du bâtiment est utilisée de manière active pour le refroidissement, il est possible de refroidir durant la nuit à des températures nettement plus basses que 24 °C. Le bâtiment refroidit de manière constante jusqu'au matin. Pendant la journée, il est possible de fonctionner avec une capacité de refroidissement réduite jusqu'à ce que la température à l'intérieur du bâtiment augmente pour atteindre 26 °C.
- Optimiser le système global Si la chaleur est utilisée (par ex. pour la régénération d'une sonde géothermique ou pour le stockage de la chaleur dans la masse du bâtiment pour la nuit), il est également possible de fournir avec le refroidissement mécanique des températures ambiantes inférieures à 24 °C.

11.1.3 Définition des points de jonction

- 11.1.3.1 Pour un fonctionnement fiable, sûr et efficace sur le plan énergétique, les planificateurs doivent définir dans le projet de construction les points de jonction entre la machine thermofrigorifique (fournisseur de la machine) et la gestion technique du bâtiment (GTB). Les figures 12 à 15 indiquent de quelle façon les points de jonction peuvent être définis:

Entrepreneur GTB = entrepreneur qui installe la gestion technique du bâtiment (GTB).

Figure 12 Le fournisseur des machines thermofrigorifiques est responsable de la régulation de la production jusqu'au séparateur hydraulique sur le côté chaud et sur le côté froid.

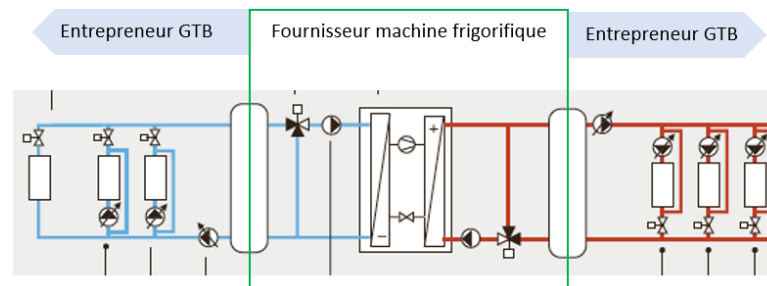


Figure 13 Le fournisseur des machines thermofrigorifiques est responsable de la régulation de la production jusqu'au séparateur hydraulique sur le côté chaud et sur le côté froid. En outre, le post-refroidissement est réalisé par le fournisseur de la machine thermofrigorifique.

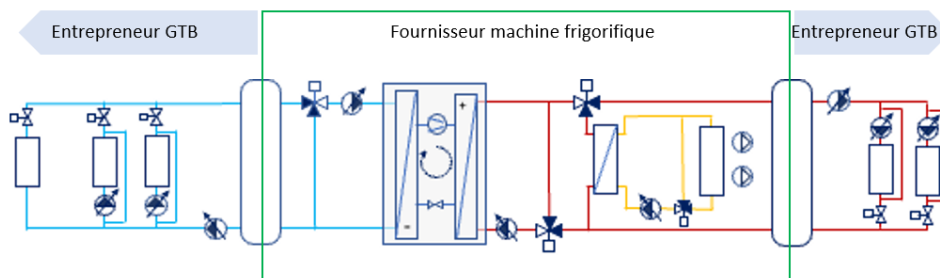


Figure 14 Le fournisseur des machines thermofrigorifique est responsable, dans le cas de systèmes sans utilisation de la chaleur, de la régulation de la production jusqu'au séparateur hydraulique sur le côté froid. En outre, le post-refroidissement est réalisé par le fournisseur de la machine thermofrigorifique.

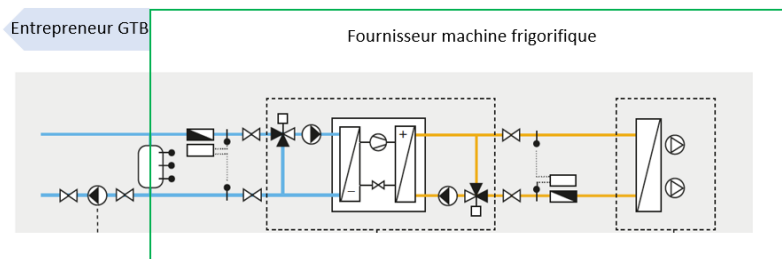
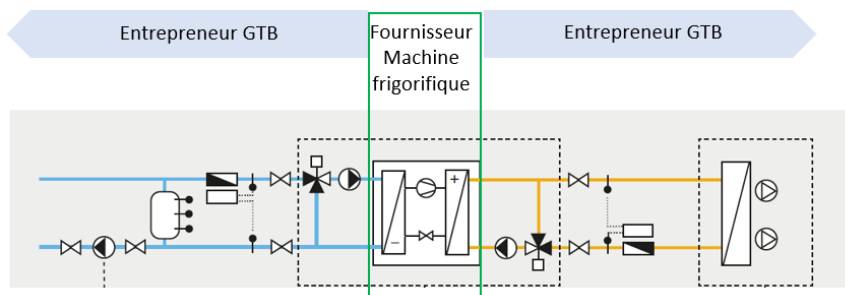


Figure 15 L'ensemble de la régulation en dehors de la machine thermofrigorifique est réalisé par le fournisseur de la gestion technique du bâtiment (entrepreneur GTB).



11.1.3.2 Il est recommandé de réaliser les ordres sous forme numérique et les valeurs de consigne sous forme analogique pour les interfaces.

11.1.3.3 Il faut au minimum les signaux d'entrée suivants:

- validation,
- retour concernant la disponibilité opérationnelle,
- décalage de la valeur de consigne température d'eau froide.

Pour les petites machines thermofrigorifiques qui autorisent la spécification de deux valeurs de consigne (par ex. pour le fonctionnement sans et avec déshumidification), les signaux d'entrée suivants sont par ailleurs nécessaires:

- valeur de consigne température d'eau froide élevée (par ex. fonctionnement en mode refroidissement avec 16 °C),
- valeur de consigne température d'eau froide basse (par ex. fonctionnement en mode déshumidification avec 10 °C).

Dans le cas de commandes avec une limitation de la puissance (et dans la mesure où la commande le permet), des signaux d'entrée sont par ailleurs judicieux:

- signal numérique, si une parmi plusieurs installations doit être activée ou désactivée,
- signal analogique, s'il est nécessaire de faire varier de manière continue la puissance d'une installation individuelle ou de machines thermofrigorifiques,
- signal numérique du contrôleur de débit (s'il existe), dès que l'évaporateur ou le condenseur sont traversés par le flux.

11.1.3.4 Il faut au minimum les signaux de sortie suivants:

- notification de la disponibilité opérationnelle de la machine thermofrigorifique ou du compresseur,
- alarme groupée,
- préalarme (si possible 2^e alarme).

11.2 Régulation de l'émission de froid (local)

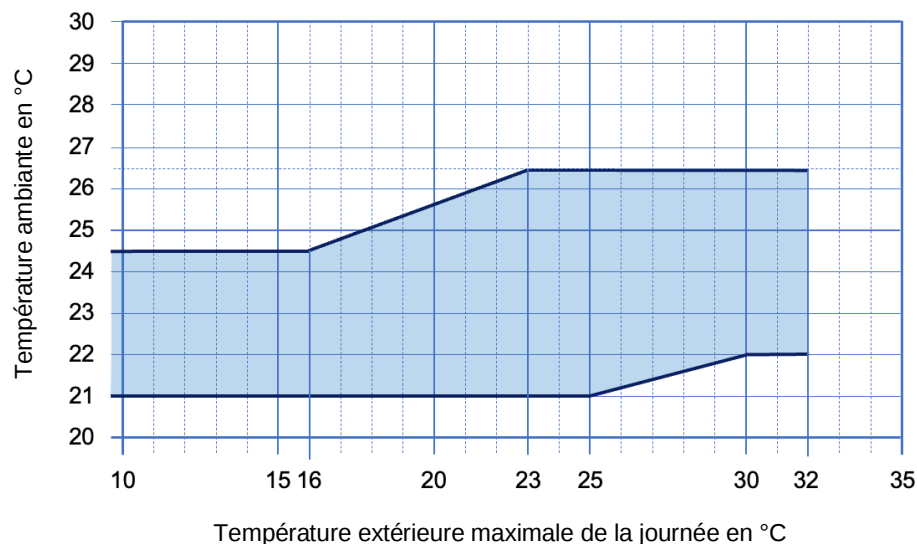
11.2.1 L'émission de froid peut être régulée pour chaque local, pour chaque zone et/ou de façon centrale.

11.2.2 Il convient d'éviter le chauffage et le refroidissement simultané d'un local.

11.2.3 La commande de l'ombrage mécanique (commande de stores) doit être accordée avec le refroidissement (voir SIA 180).

11.2.4 Les exigences en termes de température ambiante sont décrites dans SIA 180, voir figure 16.

Figure 16 Exigences en termes de température ambiante pour des locaux d'habitation et de bureau



- 11.2.5 Pour le refroidissement des locaux, il convient de prévoir une régulation de la température de départ en fonction de la température extérieure, de façon à pouvoir réagir aux influences extérieures.
- 11.2.6 Outre la température ambiante, il faut également surveiller l'humidité relative dans le local à l'aide d'une régulation du point de rosée. La régulation du point de rosée permet de décaler la température d'eau froide en conséquence et de garantir ainsi qu'aucune condensation ne se forme sur les surfaces froides.
- 11.2.7 La répartition en systèmes émetteurs individuels (par ex. groupes) doit avoir lieu sur la base des critères suivants:
- comportement de transfert thermique différent des systèmes de refroidissement,
 - temps de fonctionnement différents,
 - consommateurs d'énergie différents (groupes d'utilisation).
- 11.2.8 Régulation de local individuelle
- 11.2.8.1 Chaque local refroidi doit être équipé d'une régulation d'émission de froid individuelle. Celle-ci réduit la puissance de l'absorption de chaleur lorsque la charge de refroidissement baisse ou augmente du fait d'influences spécifiques au local (accumulation de chaleur, adaptation de la valeur de consigne de la température ambiante). La régulation du local doit être réglable individuellement et doit être en mesure de réguler de manière indépendante.
- 11.2.8.2 Aucune régulation d'émission de froid individuelle n'est nécessaire aux systèmes de surface et aux systèmes de charge de base qui travaillent à des températures très proches de la température ambiante et qui régulent ainsi eux-mêmes la température (autorégulés).
- 11.2.8.3 Les dispositifs de régulation électroniques doivent être conformes à SN EN 15500-1. Leur avantage réside dans le fait qu'il n'y a pas d'écart de réglage permanent. En outre, les dispositifs de régulation électroniques offrent des options qui soutiennent un fonctionnement optimal d'un point de vue énergétique de l'installation frigorifique:
- commande et programmation centralisées,
 - retour concernant les besoins de froid actuels des consommateurs sur la base des positions des vannes. À partir de là, il est possible de déterminer la température d'eau froide nécessaire,
 - combinaison avec une protection solaire mobile (ou avec la commande de stores), permettant ainsi une optimisation de la protection contre la surchauffe.

11.3 Régulation de la distribution de froid

11.3.1 Tâche de la régulation de distributions

Dans le cas de conduites de distribution ramifiées, il convient d'examiner la possibilité d'une prérégulation de la température aller. Elle dépend des systèmes émetteurs raccordés.

11.3.2 Régulation de la température aller dans le cas de systèmes de refroidissement conduisant de l'eau

En ce qui concerne les systèmes de refroidissement conduisant de l'eau, la température aller est limitée par l'humidité de l'air dans le local. Afin d'empêcher la formation de condensation en cas de valeurs d'humidité élevées dans le local, la température aller est très légèrement augmentée (décalée) avant que le point de rosée ne soit atteint. Une stratégie de régulation possible est décrite à l'annexe G.

11.3.3 Régulation de la température aller dans le cas de refroidisseurs d'air

La température aller pour les refroidisseurs d'air doit être adaptée aux besoins effectifs (décalée) pour des raisons énergétiques, et elle ne doit pas être réglée sur une valeur fixe (par ex. 14 °C). Une stratégie de régulation possible est décrite à l'annexe G.

11.4 Régulation de la machine thermofrigorifique

11.4.1 Tâche de ma régulation de la machine thermofrigorifique

- 11.4.1.1 La régulation de la machine thermofrigorifique doit respecter les exigences du fournisseur de la machine.
- 11.4.1.2 La régulation doit permettre de garantir que la température de la machine thermofrigorifique ne soit pas plus basse que la température de l'eau froide des consommateurs de froid.
- 11.4.1.3 Des durées de fonctionnement minimales doivent être respectées dans le cas de machines thermofrigorifiques. La durée de fonctionnement minimale est définie sur la base de la puissance de refroidissement minimale de la machine thermofrigorifique (voir tableau 15). Les composants nécessaires pour le respect des durées de fonctionnement minimales (accumulateurs, capteurs, etc.) doivent être prévus dans la planification.

Tableau 15 Durées de fonctionnement minimales de machines thermofrigorifiques en minutes

Puissance de refroidissement en kW Type de construction du compresseur	10 à 99	100 à 199	200 à 499	≥ 500
Compresseur à piston roulant	10 min.	-- ¹	-- ¹	-- ¹
Compresseur scroll	10 min.	15 min.	20 min.	25 min.
Compresseur alternatif	15 min.	20 min.	25 min.	30 min.
Compresseur à vis	15 min.	20 min.	25 min.	30 min.
Turbocompresseur	-- ¹	20 min.	30 min.	40 min.

¹⁾ Ce type de construction n'est pas habituel dans cette plage de puissance.

11.4.2 Régulation de plusieurs machines thermofrigorifiques

- 11.4.2.1 En présence de plusieurs machines thermofrigorifiques, la mise en marche et l'arrêt des différentes machines doit être coordonnée.
- 11.4.2.2 La mise en marche et l'arrêt doivent être effectués en fonction de la charge, de la technologie et de la puissance (par ex. par le biais de la température aller ou retour, de la température de l'accumulateur ou du débit volumique).
- 11.4.2.3 Dans l'état arrêté, les défauts de circulation doivent être évités. À cet effet, le débit volumique doit être interrompu par le biais de l'évaporateur et du condenseur. Font exception les systèmes sans séparateur hydraulique, tels que:
- Les systèmes, pour lesquels la pompe de l'évaporateur est également la pompe du consommateur.
 - Les systèmes, pour lesquels la pompe du condenseur fait également office de pompe à eau de refroidissement ou de pompe à eau chaude.
- Pour les systèmes sans séparateur hydraulique, le débit volumique doit se situer dans la plage spécifiée par le fournisseur (débit volumique minimal ou maximal).
- 11.4.2.4 Les différentes machines thermofrigorifiques doivent être équipées d'un dispositif de verrouillage automatique (par ex. vanne de régulation ou vanne d'arrêt motorisée).
- 11.4.2.5 Il convient de définir dans le projet de construction, lors de la définition des limites du système, qui devra concevoir les spécifications de régulation des différentes machines thermofrigorifiques (limitation de la puissance, montage en cascade ou mise en marche et arrêt). En outre, il convient de clarifier qui est responsable du montage et de la mise en service correcte des éléments de l'installation dans le cadre des limites du système définies.

11.4.3 Régulations de la température d'entrée de machines thermofrigorifiques

- 11.4.3.1 Le fournisseur de la machine thermofrigorifique exige
- une température d'entrée maximale dans l'évaporateur et
 - une température d'entrée minimale dans le condenseur.
- Celles-ci doivent être assurées au moyen d'une régulation adéquate (par ex. vanne de régulation à trois voies).

- 11.4.3.2 La durée de fonctionnement des entraînements des vannes de régulation ne doit pas être supérieure à 40 secondes entre la position finale «Ouvert» et la position finale «Fermé» et vice versa.
Dans des systèmes complexes, la durée de fonctionnement des vannes doit être contrôlée et réduite le cas échéant (par ex. en cas de conduites de post-refroidissement longues, en cas de fonctionnement proche des limites d'utilisation des machines thermofrigorifiques ou avec des machines thermofrigorifiques commutables hydrauliquement).
- 11.4.3.3 L'installation d'une régulation de la température d'entrée ou d'une régulation de la température de sortie doit être convenue avec le fournisseur de la machine. En outre, il convient de tenir compte des points suivants:
- Le système réglé doit être court, afin d'obtenir un temps de retard (temps mort) le plus court possible entre le signal du capteur (capteur de température) et l'action de l'actionneur (vanne). À cet effet, le capteur et l'actionneur doivent être proches l'un de l'autre.
 - Les capteurs et les actionneurs doivent être positionnés à proximité de la machine.
 - Les temps de réaction des éléments de capteur et les temps de fonctionnement des organes de positionnement doivent être pris en compte.

11.4.4 Régulation de l'émission de machines thermofrigorifiques

- 11.4.4.1 En règle générale, la température de l'eau froide doit être fournie en fonction des besoins du réseau d'eau froide.
- 11.4.4.2 Un mélange de l'eau froide doit être évité dans la mesure du possible. Il ne doit avoir lieu que si les systèmes avec des températures de système différentes ne sont pas viables économiquement ou si des considérations sécuritaires le nécessitent. Cela peut être le cas si:
- les températures de système sont très proches les unes des autres ($\Delta\theta \leq 4 \text{ K}$),
 - l'eau n'est mélangée que pendant quelques heures dans l'année ($t < 150 \text{ h/a}$),
 - la puissance des consommateurs ayant besoin d'eau mélangée est réduite comparée à la puissance globale ($\Phi_c < 20 \% \text{ sur } \Phi_{\text{tot}}$),
 - l'eau n'est mélangée que pendant les périodes durant lesquelles une protection contre la formation de condensation est nécessaire.

11.5 Régulation des post-refroidisseurs

- 11.5.1 La régulation doit permettre d'assurer que le post-refroidisseur et les dispositifs auxiliaires (pompes, ventilateurs, réchauffeurs de bassin, etc.) soient exploités de manière à évacuer de façon efficace sur le plan énergétique la chaleur effectivement générée aux températures extérieures respectives.
- 11.5.2 La température extérieure détermine la valeur de consigne de la température à la sortie du post-refroidisseur. Lorsque les températures extérieures sont inférieures au point de dimensionnement, la valeur de consigne de la température à la sortie du post-refroidisseur doit être automatiquement réduite (décalage de la valeur de consigne).
- 11.5.3 Selon le système et le type de fonctionnement, la régulation doit prendre en compte la température de bulbe sec et/ou la température de bulbe humide avec une pondération en fonction du système.

11.6 Mesures

11.6.1 Concept de mesure

- 11.6.1.1 Un concept de mesure doit être élaboré.
- 11.6.1.2 Le concept de mesure doit comporter la mesure de la consommation d'électricité de l'installation frigorifique (c'est-à-dire de l'énergie nécessaire), une mesure du froid produit par l'installation frigorifique et une mesure de la consommation (à savoir de la quantité de froid consommée). Ces mesures séparées permettent la plausibilisation des valeurs et le contrôle du fonctionnement de l'installation.

11.6.2 Mesure de la consommation de froid

Il convient de prévoir des points de mesure appropriés pour le décompte de la consommation de froid:

- Des recommandations concernant le lieu d'installation de points de mesure pour la mesure de chaleur figurent dans le document [46]. Elle peuvent être transposées à l'enregistrement de la consommation de froid.
- Il convient de se conformer aux prescriptions de montage des fabricants.
- Les consommateurs qui refroidissent et qui chauffent doivent être équipés de compteurs de chaleur bidirectionnels combinés.

11.6.3 Mesure de la température

11.6.3.1 Une mesure de température doit être prévue conformément à SN EN 1434-1 avec intégration dans le système de gestion des bâtiments et, le cas échéant, avec un affichage sur place.

11.6.3.2 Pour les mesures à réaliser dans des fluides frigopORTEURS, les capteurs de température doivent être installés dans des doigts de gant. Dans le cas de systèmes qui travaillent en dessous du point de rosée, il faut en plus une barrière de condensation.

11.6.3.3 Pour toutes les régulations (régulation de local individuelle, régulation de zone, régulation centralisée), les capteurs de température ambiante doivent être installés dans une position représentative. La mesure de la température ne doit pas être faussée par des influences perturbatrices, par ex. par le rayonnement solaire direct et par des rideaux.

11.6.3.4 Pour une détermination fiable des valeurs de température,

- les capteurs de température et les doigts de gant doivent être coordonnés (diamètre et longueur),
- l'espace creux entre le doigt de gant et le capteur de température doit être rempli d'une pâte conductrice,
- les capteurs de température doivent pénétrer dans l'accumulateur sur une profondeur de 450 mm au moins,
- les capteurs de température ne doivent pas être installés dans les tuyaux par le bas, afin d'éviter la condensation et les écarts de mesure.

11.6.4 Précision de mesure

11.6.4.1 La preuve du respect des valeurs de mesure convenues contractuellement doit être apportée grâce à des instruments de mesure appropriés. Les Ordonnances sur les instruments de mesure [19] et [20] de la Confédération doivent être respectées.

11.6.4.2 La précision des instruments de mesure utilisés (et des résultats) doit être documentée.

11.6.4.3 Il convient ici de faire la distinction entre les mesures suivantes:

- Mesures utilisées pour la facturation (par ex. décompte des coûts de l'énergie). Ici, les recommandations concernant le décompte des coûts de l'énergie et des coûts de l'eau du document [56] doivent être suivies.
- Mesures à des fins privées qui ont une valeur purement informative. Il n'y a ici aucune exigence envers la précision de mesure des appareils de mesure.

11.6.5 Mesures spéciales

11.6.5.1 La mesure d'autres grandeurs, telles que la pression, le débit, les grandeurs électriques, n'est pas traitée dans la présente norme.

11.6.5.2 La mesure de quantités de chaleur de systèmes d'évaporation directe (par ex. systèmes «Variable Refrigerant Volume» VRV, systèmes «Variable Refrigerant Flow» VRF) n'est pas traitée dans la présente norme.

12 CONTRÔLES

12.1 Principes

Les principes suivants doivent être pris en compte lors de la mise en exploitation:

- Lors de la réception, l'installation frigorifique dans son ensemble doit être dans un état propre et prêt à fonctionner.
- Les conditions de fonctionnement qui ont été planifiées pour une installation frigorifique doivent être consignées par écrit.
- Les valeurs réglées doivent être consignées dans un procès-verbal et être placées à proximité de l'installation en version papier ou électronique.
- Le contrat d'entreprise indique quelles procédures et quels documents sont utilisés pour la réception.
- Des mesures de contrôle doivent être effectuées dans le cadre de la réception. Les valeurs de mesure (valeurs de consigne/réelles) provenant des mesures de contrôle doivent être consignées dans un procès-verbal de réception.
- Il convient d'utiliser les procès-verbaux de réception selon SIA 118.
- Dès la phase de réalisation, des contrôles (qualité, fonctionnalité, stabilité) d'éléments individuels de l'installation sont possibles, comme par exemple:
 - installations dans des gaines techniques,
 - conduites insérées dans des dalles en béton,
 - composants dans l'atelier.

Ces contrôles sont partie intégrante de l'ouvrage à livrer et ils ne constituent pas une réception au sens juridique.

12.2 Mise en exploitation

La procédure décrite ici permet de confirmer que l'installation de refroidissement a été vérifiée pour assurer qu'elle correspond à la qualité commandée et est mise en service, réglée, testée et documentée avant la réception.

12.2.1 État de l'installation

Lors de la mise en exploitation, il s'agit de s'assurer que l'installation a été réalisée selon la présente norme. Pendant le montage et la finalisation de l'installation, il doit être procédé à une supervision des travaux, afin de s'assurer

- que tous les éléments de l'installation sont conformes à la planification, aux dessins, aux spécifications et aux directives des fabricants,
- que le montage a été réalisé dans les règles de l'art,
- que les normes pour les installations ont été respectées (il faut plus particulièrement veiller à ce que les exigences en matière de construction et de sécurité (entre autres selon SN EN 378-3 et la fiche thématique SUVA 66139 [34]) sont respectées de la même manière que les exigences concernant la quantité maximale de remplissage de fluide frigorigène selon SN EN 378-1 et l'ORRChim [12]),
- qu'avant le remplissage du fluide frigorigène, tous les dispositifs de sécurité pertinents sont en service,
- que la sécurité (personnes, bâtiment et installation) est assurée à chaque instant pendant la construction et la mise en service,
- que l'apport d'énergie est assuré et suffisant.

12.2.2 Essai de pression

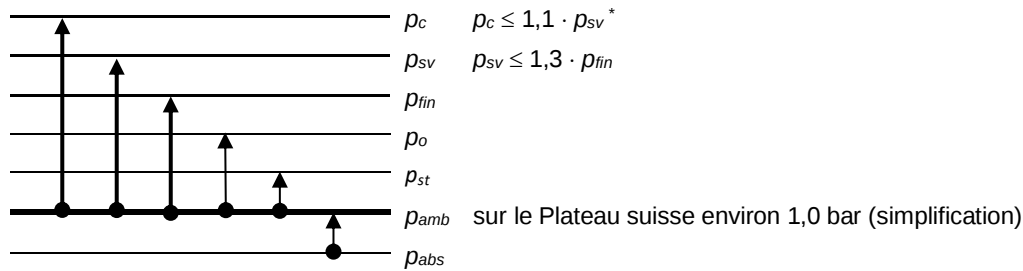
12.2.2.1 L'essai de pression prend uniquement en considération les éléments de l'installation de refroidissement qui conduisent de l'eau ou des mélanges d'eau et d'antigel.

12.2.2.2 L'essai de pression des éléments d'installation conduisant du fluide frigorigène incombe au fournisseur de la machine thermofrigorifique et n'est pas l'objet de la présente norme.

12.2.2.3 L'essai de pression se compose du contrôle d'étanchéité et de l'épreuve de résistance.

- 12.2.2.4 Les pressions liées à l'installation sont représentées à la figure 17. La directive SICC HE301-01 [31] contient tous les détails relatifs aux valeurs de pression et à leur calcul.

Figure 17 Différentes pressions



* En outre, il convient de prendre en compte la pression maximale autorisée de l'élément d'installation et la pression de concession, voir la directive SICC HE301-01 [24].

p_c pression de décharge de la soupape de sécurité, en bar
 p_{sv} pression d'ouverture de la soupape de sécurité, en bar
 p_{fin} pression de service maximale autorisée de l'installation en exploitation normale, en bar
 p_o niveau minimum de la pression d'entrée de dimensionnement, en bar
 p_{st} pression statique de la colonne de liquide, en bar
 p_{amb} pression atmosphérique sur le lieu d'installation, en bar
 p_{abs} pression absolue, en bar

- 12.2.2.5 L'essai de pression doit être effectué au moyen d'eau traitée (voir SICC BT102-01 [29]), d'air ou d'un gaz inerte (par ex. d'azote). Les gaz utilisés pour les essais de pression doivent être incombustibles et non toxiques. Les essais pneumatiques (à l'air comprimé) doivent être effectués au moyen d'air sans huile.
- 12.2.2.6 De manière générale, les essais de pression doivent être réalisés par essai hydraulique à l'eau à une température entre +5 °C et +40 °C (si possible pas plus bas que la température ambiante).
- 12.2.2.7 Si un essai de pression hydraulique est impossible pour des raisons techniques (par ex. risque de gel, essai de pression et mise en exploitation séparés par un long laps de temps), on peut recourir à un essai de pression pneumatique.
- 12.2.2.8 L'essai d'étanchéité et l'essai de résistance peuvent être effectués dans la même phase d'essai.

12.2.3 Essai d'étanchéité à l'eau

- 12.2.3.1 Les éléments des installations frigorifiques conduisant de l'eau doivent être étanches à l'eau et faire l'objet d'un essai d'étanchéité avant l'isolation des composants. L'étanchéité de tous les composants de l'installation doit être vérifiée. L'essai est considéré comme réussi lorsqu'aucune fuite n'a été détectée.
- 12.2.3.2 Lorsque l'essai d'étanchéité est réalisé avec un liquide, la pression d'étanchéité doit être identique au niveau maximum admissible de la pression de service (p_{fin}) (voir figure 17).
- 12.2.3.3 Les essais d'étanchéité avec de l'air ou du gaz doivent être effectués à une pression d'essai minimum de 0,15 bar.
- 12.2.3.4 L'essai de pression doit s'étendre sur 6 heures au moins.

12.2.4 Essai de résistance

- 12.2.4.1 La pression d'essai de résistance doit correspondre au moins à la pression d'ouverture de la soupape de sécurité. La pression d'essai maximale prescrite pour certains composants (par ex. compensateurs, amortisseurs de vibrations) ne doit être dépassée en aucun cas.
- 12.2.4.2 La durée de l'essai de résistance hydraulique doit s'étendre sur 6 heures au moins. La durée de l'essai au gaz (air comprimé) doit s'étendre sur 30 minutes au moins.
- 12.2.4.3 L'essai est considéré comme réussi lorsqu'aucune modification permanente de la structure n'a été décelée et qu'à température constante, la pression d'essai dans l'installation ne descend pas en dessous de la pression initiale de l'essai.

12.2.5 Sécurité des essais de pression pneumatiques

- 12.2.5.1 Pour l'essai de pression pneumatique (air comprimé), une personne responsable doit être désignée pour:
- assumer la direction de l'essai de pression pendant toute la durée de celui-ci,
 - surveiller le compresseur à air pendant toute la durée de l'essai de pression,
 - vérifier qu'une fois l'essai terminé, toute la pression ait été éliminée de l'installation.
- 12.2.5.2 Lors des essais de pression, aucune personne non autorisée ne doit se tenir dans les locaux où sont situés les éléments d'installation soumis à l'essai.

12.2.6 Documentation de l'essai de pression et contrôle en fonctionnement

- 12.2.6.1 L'essai de résistance et l'essai d'étanchéité doivent être consignés dans un procès-verbal. Après l'essai de pression, l'installation peut être rincée et nettoyée, puis remplie d'eau traitée (voir directive SICC BT102-01 [29]). Des méthodes de documentation sont proposées dans les annexes de SN EN 14336:2004.
- 12.2.6.2 Lors de la mise en service, les éléments d'installation conduisant de l'eau doivent être portés à la température de service maximale pour vérifier si l'installation est également étanche à chaud et qu'aucune déformation n'apparaît.

12.2.7 Remplissage de l'installation avec du fluide frigorigène

Avant de remplir l'installation avec du fluide frigorigène, tous les systèmes de sécurité nécessaires doivent être contrôlés, réceptionnés et mis en service. Cela englobe entre autres les éléments suivants:

- ventilation (ventilation du local, ventilation de sécurité, ventilation d'urgence mécanique),
- dispositifs d'alarme (alarme de gaz) et détecteurs de fluide frigorigène,
- arrêts d'urgence, arrêt à distance et signal sonore,
- détecteur d'incendie,
- étanchéité du local des machines,
- voies d'évacuation, issues de secours, panneaux d'avertissement, éclairage de secours.

12.2.8 Rinçage et nettoyage de l'installation

Les éléments conduisant de l'eau de l'installation frigorifique doivent être rincés et les filtres nettoyés. Une méthode de rinçage et de nettoyage est proposée dans SN EN 14336:2004, annexe C, pour le chauffage et elle peut être transposée aux éléments conduisant de l'eau de l'installation frigorifique. Le nettoyage chimique des installations est interdit en Suisse.

12.2.9 Remplissage et purge de l'installation

- 12.2.9.1 L'installation doit être remplie d'eau selon 8.2, puis purgée.
- 12.2.9.2 Lorsque l'installation est remplie, les raccordements à l'alimentation en eau doivent être débranchés. Tout reflux dans le réseau d'eau doit être évité.
- 12.2.9.3 Il faut s'assurer que la pression de service des éléments conduisant de l'eau de l'installation frigorifique ne soit pas dépassée, même si la source d'alimentation en eau est en mesure de fournir une pression plus élevée.
- 12.2.9.4 Pour assurer une purge efficace, il faut remplir lentement de bas en haut les éléments conduisant de l'eau de l'installation frigorifique, de façon à refouler l'air vers les points hauts et vers l'atmosphère. La position des vannes et des purgeurs d'air (ouvert/fermé) doit être soigneusement vérifiée avant et pendant le remplissage pour éviter les coups de bélier et les débordements, notamment lorsque l'installation est remplie à l'aide d'eau sous pression.

12.2.10 Protection contre le gel

Lorsque les travaux sont effectués par temps froid, il faut protéger tous les équipements et composants susceptibles d'être endommagés par le gel.

12.2.11 Contrôles de fonctionnement (vérification de fonctionnement)

Il convient de vérifier que tous éléments de l'installation fonctionnent parfaitement et qu'ils sont correctement fixés, accessibles et extensibles.

12.2.12 Mise en service

12.2.12.1 Il faut vérifier que

- les systèmes de sécurité nécessaires sont opérationnels,
- le système d'absorption de chaleur (plafonds rafraîchissants, convecteurs, etc.) est en mesure d'absorber la chaleur,
- la production de froid est opérationnelle,
- les pompes sont opérationnelles,
- l'utilisation de la chaleur est en mesure d'absorber la chaleur,
- l'émission de chaleur (post-refroidisseur) peut évacuer la chaleur,
- l'isolation est installée dans son intégralité et de manière étanche afin qu'aucune condensation ne se forme.

12.2.12.2 Tous les éléments de l'installation doivent être mis en service conformément aux instructions des fabricants.

12.2.12.3 Les valeurs de réglage nécessaires pour le fonctionnement sûr, économique et efficace sur le plan énergétique de l'installation doivent être consignées.

12.2.13 Équilibrage hydraulique

12.2.13.1 Les débits d'eau nécessaires et les valeurs de pré-réglage des dispositifs d'équilibrage hydraulique doivent être calculés (valeurs de consigne).

12.2.13.2 L'équilibrage hydraulique doit être effectué avant la réception. Les valeurs réglées des dispositifs d'équilibrage hydraulique doivent être consignées (valeurs réelles).

12.2.13.3 Les débits de consigne, les débits réels et les valeurs de réglage des dispositifs d'équilibrage hydraulique doivent être documentés de manière précise.

12.2.14 Réglage

Points à respecter pour le réglage:

- L'équilibrage hydraulique doit avoir été effectué.
- L'incertitude de mesure⁴ du débit volumique ne peut pas excéder 10% de la valeur de dimensionnement.
- La présente norme ne définit pas d'écart pour les valeurs de dimensionnement. Le résultat est accepté lorsque la valeur de dimensionnement est située dans l'incertitude de mesure.
- Les conditions de réception sont remplies lorsque les résultats des mesures se situent dans la marge de tolérance convenue pour la valeur de consigne.
- Sauf accord contraire, les exigences de SIA 382/1 s'appliquent. Toutes les exigences doivent être satisfaites simultanément.
- On trouvera des tolérances relatives à d'autres grandeurs de mesure dans SIA 382/1.

12.3 Tests intégrés dans le processus de construction

12.3.1 Les tests intégrés servent à contrôler les fonctions et relations entre les corps de métier.

12.3.2 Les tests intégrés doivent être consignés par écrit sous une forme adéquate.

⁴ L'incertitude de mesure quantifie la qualité de l'appareil de mesure et de la méthode de mesure. L'incertitude de mesure doit être indiquée pour un intervalle de confiance de 95%. Cela signifie que la méthode de mesure doit fournir des valeurs se situant avec une probabilité de 95% dans l'incertitude de mesure.

12.4 Réception partielle

- 12.4.1 La réception partielle ne peut porter que sur une partie d'ouvrage formant un tout et a les mêmes effets que la réception de l'ouvrage complet.
- 12.4.2 Le cas échéant, le transfert de la responsabilité du risque d'une partie de l'ouvrage au maître de l'ouvrage devrait faire l'objet d'une convention écrite. Cette convention comprend une description précise de la partie de l'ouvrage transférée au maître de l'ouvrage, le moment du transfert et la liste des justificatifs manquants pour une réception ordinaire.

Exemple de formulation de la convention: «La partie de l'ouvrage a été contrôlée visuellement le dd.mm.yyyy. Le bon fonctionnement des appareils, des parties de l'installation et de l'ensemble de l'installation ne peut pas encore être vérifié. En revanche, le risque de détérioration accidentelle ou de perte accidentelle de ces appareils et parties d'installation installés mais non encore mis en service est transféré au maître de l'ouvrage à la date du contrôle visuel. La réception de ces parties d'installation et l'instruction du maître de l'ouvrage auront lieu après l'achèvement total de l'installation.»

12.5 Réception

12.5.1 Généralités

- 12.5.1.1 Après la réception, la propriété de l'installation est transférée à celui qui l'a commandée. Le délai de dénonciation des défauts et le délai de prescription commencent alors à courir.
- 12.5.1.2 Avant la réception, la preuve doit être apportée que les différents composants et l'installation dans son ensemble répondent aux exigences convenues.
- 12.5.1.3 En règle générale, les conventions de prestation se rapportant à des paramètres qui dépendent des conditions climatiques extérieures ne peuvent pas être vérifiées dans les conditions de dimensionnement. La réception peut également avoir lieu dans des conditions climatiques extérieures qui diffèrent des conditions de dimensionnement. Dans ce cas, la réception peut avoir lieu:
- sous réserve de la fourniture des prestations au point de dimensionnement ou
 - par une plausibilisation des valeurs (preuve par le calcul) ou
 - avec un accord concernant une nouvelle réception ultérieure dans les conditions de dimensionnement.
- 12.5.1.4 La réception d'installations situées en Suisse est soumise à SIA 118 et SIA 118/380 ainsi qu'aux indications figurant sur les documents de réception des associations professionnelles, si elles ont fait l'objet d'un accord entre les parties.

12.5.2 Mesures de contrôle

- 12.5.2.1 Des mesures de contrôle sont effectuées après la mise en service, et ce avant ou pendant la réception. Elles sont généralement aléatoires.
- 12.5.2.2 Les tolérances de mesure sont identiques à celles définies au chiffre 11.6.4.
- 12.5.2.3 Les mesures de contrôle doivent être consignées dans le procès-verbal de réception.

12.5.3 Spécifications techniques et documentation

- 12.5.3.1 Lors de la réception, un modèle « as-built » ou une documentation complète incluant des plans et des schémas de l'installation réalisée doit être transmis au maître de l'ouvrage.
- 12.5.3.2 Tous les composants installés doivent être documentés de manière à faciliter l'entretien de l'installation pendant le service ainsi que le recours aux spécifications techniques et aux valeurs de réglage en cas de remplacement d'un composant.

12.5.4 **Instruction**

- 12.5.4.1 Il est essentiel que les propriétaires et utilisateurs d'une installation frigorifique sachent comment la faire fonctionner de manière économique, efficace sur le plan énergétique et en toute sécurité.
- 12.5.4.2 L'instruction doit aborder les thèmes suivants, qui doivent être repris dans un mode d'emploi sous forme écrite ou électronique:
- maintenance: Explication des responsabilités,
 - journal de maintenance dans lequel sont consignées les interventions réalisées,
 - mesures à prendre en cas de dysfonctionnements de l'installation frigorifique et en cas d'incident,
 - comptabilité énergétique,
 - carnet d'entretien,
 - informations relatives à l'obligation d'annoncer les installations fonctionnant avec plus de 3 kg de fluide frigorigène,
 - informations relatives aux travaux d'entretien et de maintenance nécessaires,
 - informations relatives à la mise en œuvre régulière de mesures d'optimisation énergétique.

12.5.5 **Tests intégraux interdisciplinaires**

Les tests intégraux doivent être planifiés selon SIA 2046 et réalisés après la mise en exploitation.

13 EXPLOITATION ET MAINTENANCE

13.1 Généralités

- 13.1.1 Les installations de refroidissement exigent une manipulation compétente ainsi que des entretiens périodiques.
- 13.1.2 Les travaux d'inspection et de remise en état nécessaires doivent être effectués régulièrement.
- 13.1.3 Il faut procéder périodiquement à une optimisation énergétique de l'exploitation pour réduire au minimum la consommation d'énergie et l'impact environnemental de l'installation de refroidissement.
- 13.1.4 L'exploitant (propriétaire, facility manager FM, concierge) doit informer périodiquement les utilisateurs du bâtiment sur la façon dont ils peuvent maintenir à un niveau aussi faible que possible la consommation d'énergie pour le refroidissement grâce à un comportement adéquat [53].

13.2 Notices d'exploitation, d'entretien et d'utilisation

- 13.2.1 Les notices d'exploitation, d'entretien et d'utilisation doivent être établies avant la réception, et les données nécessaires à l'équilibrage de l'installation doivent être mises à disposition.
- 13.2.2 Systèmes conduisant de l'eau
Pour les systèmes conduisant de l'eau (absorption de chaleur, émission de chaleur), les notices d'exploitation, d'entretien et d'utilisation doivent être conformes (selon l'accord contractuel) à SN EN 12170 ou encore à SN EN 12171.
- 13.2.3 Systèmes conduisant du fluide frigorigène
Dans le cas des systèmes conduisant du fluide frigorigène (machine thermofrigorifique, etc.), ce sont entre autres les réglementations suivantes qui fournissent les bases pour les notices d'exploitation, d'entretien et d'utilisation:
 - contrôle d'étanchéité (ORRChim [12]),
 - entretien d'équipements sous pression et de soupapes de sécurité (ordonnance sur les équipements sous pression [18] et directive CFST 6516 [38]),
 - sécurité de la machine (Directive Machines 2006/42/CE [43]),
 - protection de la population et de l'environnement contre les préjudices graves (ordonnance sur les accidents majeurs [13]),
 - protection contre les fuites de fluide frigorigène (directive SES [58], directives CFST 6507 [37], 1825 [36] et 6517 [39]),
 - risque d'incendie, d'explosion et sanitaire lors de la manipulation de fluides frigorigènes (fiche thématique SUVA 66139 [34]).
- 13.2.4 Il est recommandé de consulter les documents suivants pour la maintenance:
 - Directive SICC BT104-01 [30],
 - SN EN 378-4,
 - Fiche de normalisation VDMA 24186-3 [47].
- 13.2.5 Le propriétaire de l'installation est responsable de la maintenance de l'installation de refroidissement selon les dispositions.
- 13.2.6 La maintenance de l'installation frigorifique doit être effectuée par du personnel qualifiée d'entreprises spécialisées.
- 13.2.7 Les travaux qui concernent le circuit du fluide frigorigène ne doivent être exécutés que par des personnes qui disposent d'un permis selon l'ordonnance du DETEC [15] (voir également l'aide-mémoire ASF [54]). Selon le type de fluide frigorigène, des qualifications supplémentaires sont nécessaires.

13.3 Pannes

- 13.3.1 La conception de l'installation doit définir si elle doit être mise hors service en cas d'incident et, le cas échéant, comment. La documentation de l'installation doit décrire une procédure à suivre en cas d'incident, qui doit également être incluse dans l'instruction.
- 13.3.2 Selon le fluide frigorigène, il faut convenir avec les différents domaines spécialisés (police du feu, assurance immobilière, SUVA, etc.) de la planification en cas d'incident et définir les mesures nécessaires. Les documents suivants peuvent alors être utiles:
- Störfallvorsorge bei Kälteanlagen (en allemand) [13],
 - fiche thématique SUVA 66139 [34],
 - directive CFST 1825 [36],
 - directive CFST 6507 [37],
 - directive CFST 6517 [39],
 - spécifications du fabricant de la machine thermofrigorifique ou du fournisseur.

13.4 Entretien, inspection et optimisation énergétique de l'exploitation

- 13.4.1 Après sa réception, l'installation doit être entretenue dans les règles de l'art.
- 13.4.2 Les travaux d'entretien et d'inspection doivent être exécutés conformément aux documents d'entretien. Les intervalles d'entretien et d'inspection sont consignés dans la documentation de l'installation.
- 13.4.3 Les points suivants doivent être plus particulièrement pris en compte lors de l'entretien d'installations de refroidissement:
- remplacement des soupapes de surpression (soupapes de sécurité) selon directive Équipements sous pression [18], SN EN 378, directive CFST 6516 [38],
 - contrôle de la qualité de l'eau, du frigoporteur et du caloporteur,
 - contrôle des exigences en matière d'hygiène dans le cas de surfaces «humides» à l'air (post-refroidisseur),
 - contrôle des dispositifs de sécurité périphériques, tels que installation d'alarme de gaz, ventilation d'urgence mécanique, mise hors tension, transmission de l'alarme, etc.,
 - nettoyage, entretien et vérification du post-refroidisseur (au moins une fois par an, plus fréquemment en cas de lieux d'installation fortement pollués),
 - vérification des voies d'évacuation et des issues de secours,
 - vérification de l'étanchéité du local de machines.
- 13.4.4 Il est recommandé de procéder régulièrement à une optimisation énergétique de l'exploitation selon SIA 2048 ou au contrôle du froid annuel [49].
- 13.4.5 Les responsabilités entre le propriétaire, l'exploitant (concierge, entreprise FM), les fournisseurs de prestations d'entretien et de prestations de services et les locataires doivent être définies au cas par cas lors de la réception de l'installation.
- 13.4.6 Lorsque des contrats d'entretien sont conclus, il faut également indiquer les responsabilités des entreprises mandatées.

14 RENOUELEMENT ET REMPLACEMENT

14.1 Réflexions conceptuelles

Il vaut la peine de planifier à temps le remplacement de l'installation prévu dans un avenir proche afin d'éviter une défaillance totale et des interruptions d'exploitation. Avant de remplacer l'installation frigorifique, il est recommandé de clarifier au moins les points suivants et de les intégrer dans la planification:

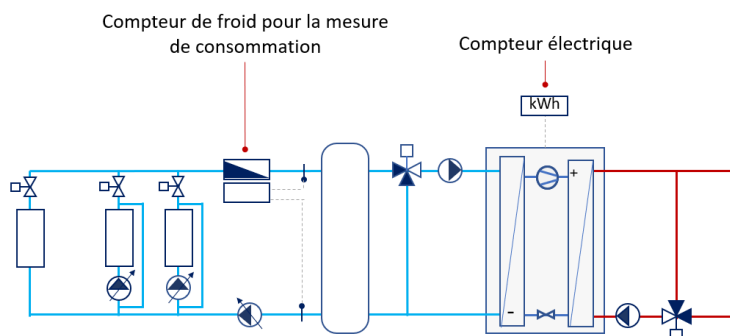
- besoins,
- examen du système global «Froid»,
- durée de vie restante des autres installations,
- utilisation de la chaleur,
- planification de l'installation dans les règles de l'art,
- instrumentation,
- choix du fluide frigorigène,
- consommation d'électricité,
- étude de la viabilité économique,
- mise en exploitation, optimisation et instruction,
- prestations de service durant le fonctionnement.

Dans le document [50] sont décrits les points les plus importants à prendre en considération dans le cas d'un remplacement de l'installation.

14.2 Dimensionnement de la machine thermofrigorifique dans le cas d'un remplacement

- 14.2.1 Pour un dimensionnement optimal de la machine thermofrigorifique, il convient de déterminer les besoins de froid des consommateurs avant de procéder à un remplacement. Cette détermination (mesure de la consommation de froid) a idéalement lieu avec un compteur de froid (compteur de chaleur froid) du côté froid en aval de l'accumulateur (voir figure 18).

Figure 18 Mesure de la consommation de froid



- 14.2.2 La mesure de la consommation de froid doit être réalisée au moins durant les deux semaines les plus représentatives possible, idéalement en été et les jours avec des températures extérieures maximales d'au moins 25 °C. Les facteurs d'influence (température extérieure, utilisation de bâtiment, etc.) doivent alors également être enregistrés. Plus la durée de la mesure est longue, plus le résultat est pertinent.
- 14.2.3 Parallèlement à la mesure de consommation de froid, les besoins en électricité de la machine thermofrigorifique doivent être déterminés.
- 14.2.4 Installations avec une mesure de consommation de froid existante

Dans le cas d'installations disposant d'une mesure de consommation de froid, les résultats de mesure du compteur de froid doivent être plausibilisés par rapport à la précision du compteur avant de procéder au remplacement. Si les résultats de mesure du compteur de froid ne sont pas compréhensibles, celui-ci doit être démonté et vérifié dans un laboratoire, ou alors les résultats de mesure doivent être vérifiés grâce à une mesure mobile.

14.2.5 Installations sans mesure de consommation de froid existante

14.2.5.1 En cas d'installations sans mesure de consommation de froid:

- un compteur de froid doit être installé en rétrofit et les besoins de froid doivent être déterminés. Dans la plupart des cas, ça ne revient pas plus cher qu'une mesure mobile. Après le remplacement de la machine thermofrigorifique, il est possible de continuer à utiliser le compteur de froid.
- les besoins de froid doivent être déterminés avec une mesure mobile comme alternative. À cet effet, la consommation de froid est déterminée avec un compteur de froid mobile qui dispose d'une mesure de débit à ultrasons et de deux capteurs de température (thermomètre à poser ou solution comparable). Il est important que le point de mesure de la mesure par ultrasons soit soigneusement planifié et que les valeurs mesurées soient vérifiées. En outre, le fluide frigoporteur doit être analysé au sujet de ses propriétés physiques (composition) avant la mesure.

14.2.5.2 Lors de la planification de la machine thermofrigorifique, il convient de tenir compte des prescriptions actuelles de l'ORRChim [12]. Celles-ci contiennent les conditions-cadres pour les fluides frigorigènes, la puissance de refroidissement de la machine thermofrigorifique et la quantité de remplissage maximale avec des fluides frigorigènes.

14.3 Planification d'un remplacement

Chaque remplacement d'une machine thermofrigorifique nécessite une planification dans les règles de l'art. Il convient d'intégrer alors le système global allant des besoins de froid jusqu'à l'utilisation de la chaleur. Les points suivants doivent être plus particulièrement pris en compte:

- l'environnement, dans lequel la nouvelle machine thermofrigorifique est planifiée,
- l'intégration, comme par ex. le circuit hydraulique,
- vérifier si toutes les exigences de sécurité peuvent être remplies,
- l'intégration dans la gestion technique du bâtiment,
- la mise en place dans le local de machines,
- l'espace disponible dans le local de machines.

14.4 Réparation et transformation d'une machine thermofrigorifique

Lors d'une réparation ou d'une transformation de la machine thermofrigorifique, il convient de prendre en compte les directives de l'ORRChim [12] et les points figurant dans l'Aide à l'exécution correspondante de l'OFEV [21].

15 DÉMONTAGE ET ÉLIMINATION

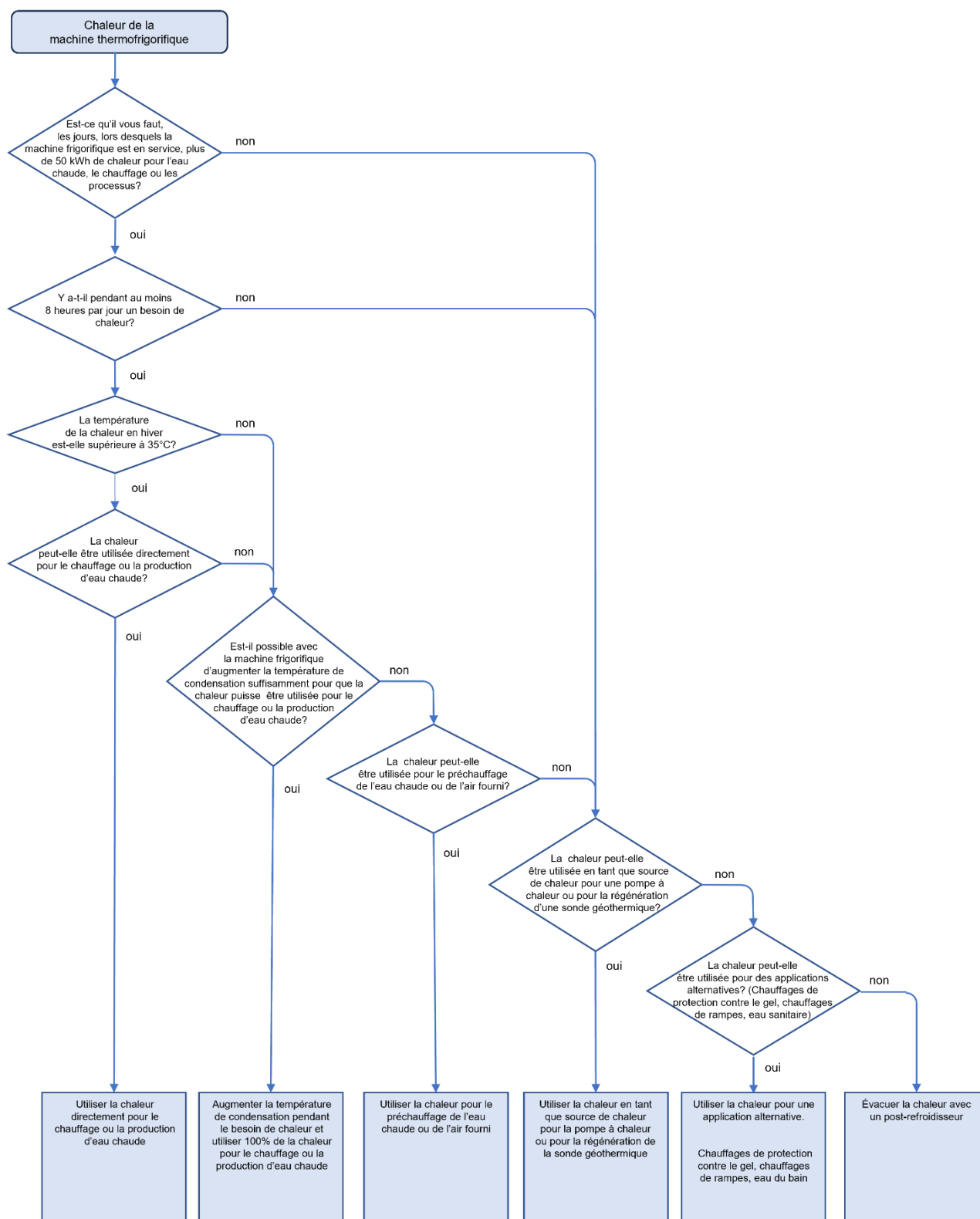
- 15.1.1 Dès la conception de l'installation, il faut garantir que son démontage et son élimination n'auront aucun impact environnemental qu'il aurait été possible d'éviter.
- 15.1.2 Le choix des composants et des systèmes doit inclure des considérations écologiques relatives à leur démontage et à leur élimination. Au moins un des critères suivants doit être rempli:
- valorisation,
 - pas de déchets spéciaux dont la teneur en composés organiques halogénés est supérieure à 1% en poids, de façon à permettre leur incinération dans une usine d'incinération des ordures ménagères (voir ordonnance sur les déchets [14], art. 32, al. 2, let. c),
 - stockage admis dans une décharge de type B.
- 15.1.3 Les composants techniques dont la durée de vie est inférieure à celle du bâtiment doivent pouvoir être remplacés ou réparés sans modification majeure de la structure du bâtiment.
- 15.1.4 Le démontage et l'élimination des substances doivent être réalisés par du personnel qualifié. Le démontage des éléments conduisant du fluide frigorigène et l'élimination dans les règles de l'art du fluide frigorigène doivent être assurés par des personnes qui disposent d'un permis selon l'ordonnance du DETEC [15] (voir également le aide-mémoire ASF [54]).

Annexe A (normative)

Utilisation de la chaleur I

Le diagramme de la figure 19 montre les réflexions conceptuelles relatives à l'utilisation de la chaleur.

Figure 19 Diagramme utilisation de la chaleur



Annexe B (informative)

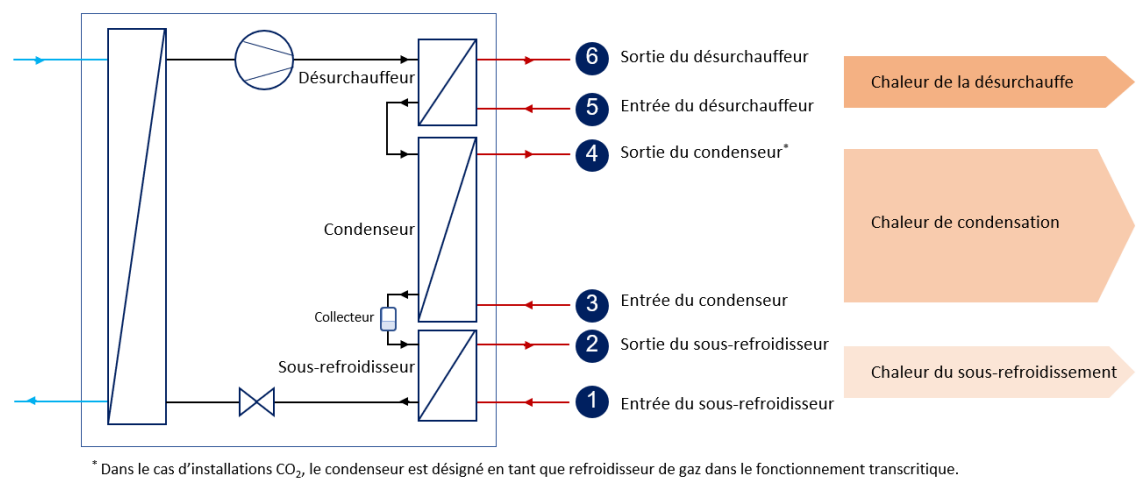
Utilisation de la chaleur II

B.1

Possibilités d'utilisation de la chaleur de la machine thermofrigorifique

La façon d'utiliser la chaleur issue de la machine thermofrigorifique dépend du fluide frigorigène, des besoins de chaleur et de la température nécessaire. La figure 20 montre les différentes possibilités d'utilisation de la chaleur.

Figure 20 Utilisations de la chaleur dans le cas d'une machine thermofrigorifique



B.2

Utilisation de la chaleur provenant du désurchauffeur

Influence sur l'efficacité?	L'utilisation de la chaleur provenant du désurchauffeur n'a aucune influence sur l'efficacité (EER).
Quel est le pourcentage de chaleur générée pouvant être utilisé?	Dépend du fluide frigorigène - Fluides frigorigènes naturels env. 15% - HFO env. 3% - Autres fluides frigorigènes synthétiques env. 10%
Température à la sortie du désurchauffeur	6 La température à la sortie du désurchauffeur dépend du fluide frigorigène et de la température à la sortie du condenseur. Dans le cas d'applications de refroidissement sans augmentation de la température, la température maximale à la sortie du désurchauffeur ($\theta_{\text{deh,out}}$) dépend de la température à la sortie du condenseur ($\theta_{\text{cond,out}}$ - généralement dans un cas de dimensionnement d'env. 36 °C) et de l'éventuelle différence de température $\Delta\theta$. $\theta_{\text{deh,out}} = \theta_{\text{cond,out}} + \Delta\theta$ - $\Delta\theta$ pour le CO₂ 40 K à 65 K - $\Delta\theta$ pour l'ammoniac NH₃ 45 K à 70 K - $\Delta\theta$ pour le propane, propène 30 K à 35 K - $\Delta\theta$ pour le HFO 10 K à 15 K - $\Delta\theta$ pour R134a, R4104A, R507A 15 K à 20 K - $\Delta\theta$ pour R417x, R410A 20 K à 30 K

B.3 Utilisation de la chaleur provenant du condenseur sans augmentation de la température

Influence sur l'efficacité?	L'utilisation de la chaleur provenant du condenseur sans augmentation de la température n'a aucune influence sur l'efficacité (EER).	
Quel est le pourcentage de chaleur générée pouvant être utilisé?	0% à 100%	
Température à la sortie du condenseur (fonctionnement en mode refroidissement)	4 Dépend du fluide frigorigène	
	- CO ₂ ⁵	30 °C à 60 °C
	- Ammoniac NH ₃	30 °C à 40 °C
	- Propane, propène	30 °C à 40 °C
	- HFO	30 °C à 40 °C
	- Autres fluides frigorigènes synthétiques	30 °C à 40/45 °C

B.4 Utilisation de la chaleur provenant du condenseur avec augmentation de la température

Influence sur l'efficacité?	Une température plus élevée de 1 K au niveau du condenseur augmente le besoin d'énergie d'entraînement d'env. 2,5%. Du fait du double usage de l'énergie (froid et chaleur), une augmentation de la température du condenseur augmente toujours l'efficacité du système global malgré l'augmentation du besoin d'énergie d'entraînement.	
Quel est le pourcentage de chaleur générée pouvant être utilisé?	Si la température est augmentée, 100% de la chaleur doivent être utilisés.	
Température à la sortie du condenseur	4 La température maximale dépend du fluide frigorigène.	
	- CO ₂ ⁵	max. 90 °C
	- Ammoniac NH ₃	max. 90 °C
	- Propane, Propène	max. 55/60 °C
	- HFO	max. 75/85 °C
	- autres fluides frigorigènes synthétiques	max. 55/75 °C

⁵ Dans les installations au CO₂, il convient de prendre en compte les spécificités du processus. Des températures basses à l'entrée du refroidisseur de gaz sont indispensables au fonctionnement efficace d'une machine thermofrigorifique au CO₂. Ainsi, il faut par exemple s'attendre à des pertes significatives d'efficacité lorsque la température à l'entrée du refroidisseur de gaz **4** dépasse env. 30 °C.

B.5 Utilisation de la chaleur provenant du sous-refroidisseur externe

Influence sur l'efficacité?	Le sous-refroidissement externe permet une amélioration de jusqu'à 15% de l'EER. La valeur dépend de la température du sous-refroidissement et des besoins énergétiques des énergies auxiliaires (pompes, etc.) pour la mise à disposition du fluide de sous-refroidissement.
Quel est le pourcentage de chaleur générée pouvant être utilisé?	0% à 100%
Température à l'entrée du sous-refroidisseur	1 Il est recommandé que la température l'entrée du sous-refroidisseur soit inférieure d'au moins 5 K à la température à l'entrée du condenseur. Dans la plupart des cas, les différences de température moins importantes ne sont pas rentables. Selon la hausse de température lors de l'utilisation, des différences de température de 10 K à 20 K sont possibles. Avant de procéder à la planification, il est recommandé de se concerter avec l'entreprise de froid au sujet de la faisabilité technique d'un sous-refroidissement.

Annexe C (informative)

Encombrement

Pour le dimensionnement approximatif, l'encombrement de l'installation de refroidissement (centrale de froid pure) dans le local de machines peut être déterminé à l'aide de la figure 21. Sont compris dans l'encombrement: la machine thermofrigorifique, les installations du côté de l'évaporateur et du condenseur, les accumulateurs techniques, les groupes d'émission de chaleur et de froid et les tableaux de commande de gestion technique du bâtiment.

Figure 21 Encombrement et hauteur de plafond de l'installation de refroidissement dans un local de machines

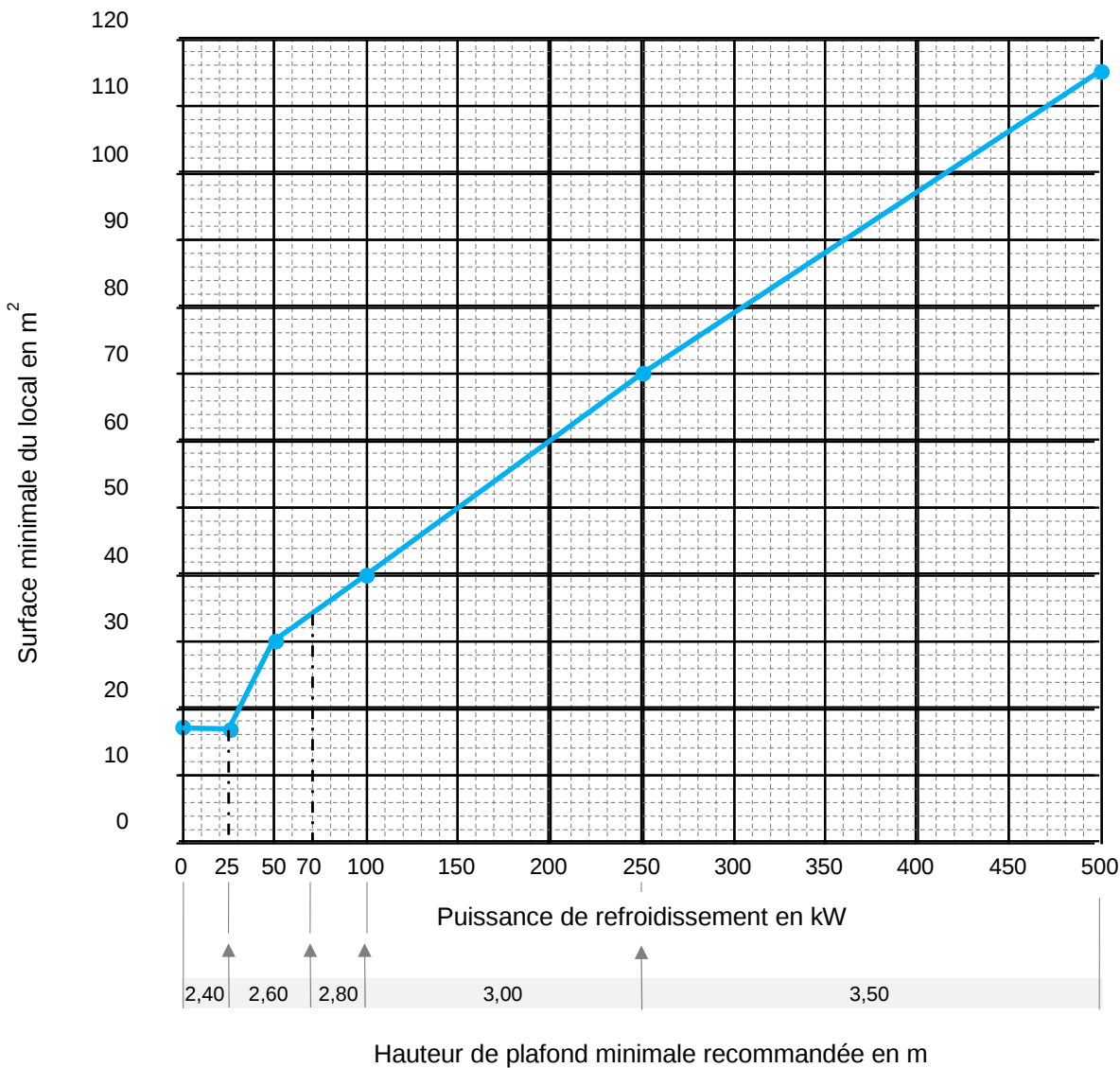


Tableau 16 Hauteur de plafond minimale recommandée

Puissance, en kW	jusqu'à 25	25 à 70	70 à 100	100 à 250	250 à 500
hauteur minimale, en m	2,40	2,60	2,80	3,00	3,50

Annexe D (informative)

Refroidissement de petits locaux individuels

D.1 Détermination de la puissance du refroidissement de locaux individuels

- D.1.1 Les apports de chaleur internes d'un local individuel doivent être déterminés au moyen des puissances de raccordement électriques des appareils installés (puissance multipliée par la durée de fonctionnement).

$$Q_d = \sum_x^1 P_{ela} \times t_{op} \quad (2)$$

Q_d	Consommation journalière d'énergie de refroidissement, en kWh/d
P_{ela}	Puissance nominale électrique, en kW
t_{op}	Durée de fonctionnement, en h

- D.1.2 Dans l'idéal, le planificateur-électricien connaît la puissance d'exploitation des appareils installés. Dans ce cas, il est possible d'utiliser dans l'équation (2) la puissance d'exploitation à la place de la puissance nominale.
Si on utilise la puissance nominale dans l'équation (2) pour le calcul, la consommation journalière d'énergie de refroidissement calculée et la puissance de refroidissement qui en découle sont nettement trop élevées. Dans ce cas, la puissance de refroidissement effective ne représente la plupart du temps que 20% à 50% de la puissance de refroidissement calculée.
- D.1.3 Si les pics de consommation ne représentent que quelques heures par jour, la puissance peut être déterminée au moyen de la consommation journalière d'énergie de refroidissement. La consommation journalière d'énergie de refroidissement se mesure en kWh/20h (et non 24h: supplément pour l'éclairage, les ventilateurs, etc.).

$$Q_d = \sum_x^1 P_{ela} \times t_{op} \times f \quad (3)$$

Q_d	Consommation journalière d'énergie de refroidissement, en kWh/d
P_{ela}	Puissance de raccordement électrique, en kW
t_{op}	Durée de fonctionnement, en h
f	Facteur de correction de 1,2 en tant que supplément pour l'éclairage, les ventilateurs, etc.

D.2 Estimation de la puissance requise sur la base de la courbe caractéristique de puissance mesurée

Il est recommandé d'enregistrer la consommation d'électricité de locaux avec de gros consommateurs électriques (par ex. locaux de serveurs). En cas d'optimisation de l'exploitation ou de remplacement de l'installation, les données de consommation ainsi déterminées fournissent de précieuses bases pour le dimensionnement de l'installation frigorifique.

Annexe E (informative)

Dimensionnement accumulateur de froid

Le volume minimal de l'accumulateur de froid est déterminé, selon la situation, par le volume d'accumulateur nécessaire, et ce sur la base de la durée de fonctionnement minimale du compresseur ou du plus gros consommateur de froid. Si les volumes d'accumulateur ainsi calculés sont très différents les uns des autres, cela doit être plausibilisé par le calcul du volume d'accumulateur par le biais du débit volumique minimal nécessaire (voir E.4).

E.1 Calcul du volume d'accumulateur de froid sur la base de la durée de fonctionnement minimale du compresseur

Le volume minimal de l'accumulateur de froid dépend du temps qu'il faut attendre entre la mise en marche et l'arrêt du compresseur.

$$V_{sto,1} = \frac{\phi_{comp,min} \times t_{comp,min} \times 60}{c \times \Delta\theta \times \rho} \quad (4)$$

$V_{sto,1}$	volume accumulateur de froid, en m ³
$\phi_{comp,min}$	puissance de refroidissement minimale du compresseur, en kW
$t_{comp,min}$	durée de fonctionnement minimale du compresseur selon le tableau 17, en minutes
c	capacité calorifique du fluide d'accumulateur, en kJ/(kg*K)
$\Delta\theta$	différence de température entre l'aller et le retour du consommateur d'eau froide, en K
ρ	densité du fluide d'accumulateur, en kg/m ³

E.2 Calcul du volume d'accumulateur de froid au moyen du plus gros consommateur de froid

La puissance de refroidissement du plus gros consommateur de froid détermine le volume minimal de l'accumulateur de froid.

$$V_{sto,2} = \frac{\phi_{cw,cons} \times t_{lip} \times 60}{c \times \Delta\theta \times \rho} \quad (5)$$

$V_{sto,2}$	volume accumulateur de froid, en m ³
$\phi_{cw,cons}$	puissance de refroidissement du plus gros consommateur d'eau froide qui peut être mis en marche ou arrêté, en kW
t_{lip}	laps de temps jusqu'à ce que la production de froid réagisse au pic de puissance le plus élevé des consommateurs (constante de temps de mise en marche) selon le tableau 16, en minutes
c	capacité calorifique du fluide d'accumulateur, en kJ/(kg*K)
$\Delta\theta$	différence de température entre l'aller et le retour du consommateur de froid, en K
ρ	densité du fluide d'accumulateur, en kg/m ³

E.2.1 Calcul du temps de réaction de l'accumulateur

$$t_{lip} = \frac{\phi_{cw,cons} \times t_{comp,soc} \times 60 \times f_{cpx}}{\dot{\phi}_{comp,max}} \quad (6)$$

t_{lip}	laps de temps jusqu'à ce que la production de froid réagisse au pic de puissance le plus élevé des consommateurs, en secondes
$\dot{\phi}_{cw,cons}$	puissance du plus gros consommateurs d'eau froide se mettant en marche ou s'arrêtant, en kW
$t_{comp,soc}$	constante de temps de mise en marche du compresseur, en minutes (voir tableau 16)
f_{cpx}	facteur de complexité (voir tableau 18)
$\dot{\phi}_{comp,max}$	puissance de refroidissement maximale du compresseur, en kW

E.2.2 Constantes de temps de mise en marche des compresseurs

La constante de temps de mise en marche du compresseur décrit le laps de temps minimal qu'il faut attendre après un arrêt du compresseur, avant que ce dernier puisse de nouveau être mis en marche. Sur les machines thermofrigorifiques avec plusieurs compresseurs, le compresseur présentant la puissance de refroidissement la plus élevée ou encore le compresseur occasionnant le pic de puissance le plus élevé détermine la constante de temps de mise en marche.

Tableau 17 Constantes de temps de mise en marche du compresseur ($t_{comp,soc}$) en minutes

Puissance de refroidissement en kW		10 à 99	100 à 199	200 à 499	≥ 500
Type de construction du compresseur	Type de fonctionnement				
Compresseur à piston roulant	Marche/Arrêt	5 min.	-- ¹⁾	-- ¹⁾	-- ¹⁾
Compresseur à piston roulant	Onduleur	8 min.	-- ¹⁾	-- ¹⁾	-- ¹⁾
Compresseur scroll	Marche/Arrêt	5 min.	5 min.	6 min.	6 min.
Compresseur scroll	Onduleur	8 min.	8 min.	9 min.	9 min.
Compresseur alternatif	Marche/Arrêt	8 min.	8 min.	10 min.	10 min.
Compresseur alternatif	Onduleur	12 min.	12 min.	15 min.	15 min.
Compresseur à vis	Marche/Arrêt	8 min.	8 min.	10 min.	10 min.
Compresseur à vis	Onduleur	12 min.	12 min.	15 min.	15 min.
Turbocompresseur	Onduleur	-- ¹⁾	15 min.	15 min.	15 min.

¹⁾ Ce type de construction n'est pas habituel dans cette plage de puissance.

E.2.3 Durée de fonctionnement minimale du compresseur

La durée de fonctionnement minimale du compresseur décrit la durée minimale pendant laquelle un compresseur doit fonctionner après une mise en marche. Sur des machines thermofrigorifiques avec plusieurs compresseurs, le compresseur présentant la puissance de refroidissement la plus élevée ou le compresseur occasionnant le pic de puissance le plus élevé détermine la durée de fonctionnement minimale.

Tableau 18 Durée de fonctionnement minimale des compresseurs ($t_{comp,min}$) en minutes

Puissance de refroidissement en kW		10 à 99	100 à 199	200 à 499	≥ 500
Type de construction du compresseur					
Compresseur à piston roulant		10 min.	-- ¹⁾	-- ¹⁾	-- ¹⁾
Compresseur scroll		10 min.	15 min.	20 min.	25 min.
Compresseur alternatif		15 min.	20 min.	25 min.	30 min.
Compresseur à vis		15 min.	20 min.	25 min.	30 min.
Turbocompresseur		-- ¹⁾	20 min.	30 min.	30 min.

¹⁾ Ce type de construction n'est pas habituel dans cette plage de puissance.

La valeur temporelle est déterminée au moyen de la puissance minimale du compresseur individuel.

E.2.4 Facteur de complexité de l'installation frigorifique

Avec la complexité grandissante de l'installation frigorifique, l'interaction entre les différents systèmes nécessite plus de temps, rendant ainsi nécessaire un volume d'accumulateur plus important. Le facteur de complexité permet de tenir compte de cette circonstance.

Tableau 19 Facteur de complexité (f_{cpx})

Production de froid	Facteur de complexité	Remarque
production de froid simple	1,0	une machine thermofrigorifique
production de froid complexe	1,5	plusieurs machines thermofrigorifiques
fonctionnement parallèle en mode chauffage et en mode refroidissement	2,0	

E.3 Calcul du volume d'accumulateur de froid au moyen du débit volumique minimal nécessaire

Le débit volumique minimal nécessaire par le biais de l'évaporateur et le temps de charge de l'accumulateur prédéfinissent le volume d'accumulateur minimal nécessaire.

$$V_{sto,3} = \frac{(\phi_{eva,min} - \phi_{C,cons}) \times t_{sct}}{c \times (\theta_{eva,in} - \theta_{eva,out}) \times 1000} \quad (7)$$

$V_{sto,3}$	Volume accumulateur de froid, en m ³
$\phi_{eva,min}$	Puissance d'évaporateur pour un débit massique minimal de la machine thermofrigorifique, en kW
$\phi_{C,cons}$	puissance minimale requise consommateurs de froid, en kW
$\theta_{eva,in}$	température à l'entrée de l'évaporateur, en °C
$\theta_{eva,out}$	température à la sortie de l'évaporateur, en °C
t_{sct}	temps de charge de l'accumulateur, en s (la valeur standard pour le temps de charge de l'accumulateur est de 900 s)
c	capacité calorifique spécifique de l'eau, en kJ/(kg*K)

E.4 Volume d'accumulateur de froid déterminant

E.4.1 Le plus gros des deux volumes d'accumulateur calculés

$V_{sto,1}$: Calcul sur la base de la durée de fonctionnement minimale du compresseur

$V_{sto,2}$: Calcul sur la base du plus gros consommateur de froid

détermine le volume minimal de l'accumulateur de froid.

E.4.2 Si les volumes d'accumulateur diffèrent significativement les uns des autres ($V_{sto,1}$ et $V_{sto,2}$), le calcul peut être plausibilisé en calculant le volume d'accumulateur par le biais du débit volumique minimal nécessaire ($V_{sto,3}$). Si la plausibilisation met en évidence que le volume d'accumulateur déterminé sous E.4.1 est bien trop gros, le volume d'accumulateur minimal nécessaire peut être réduit.

Annexe F (informative)**Utilisation de la chaleur à des températures supérieures à 60 °C**

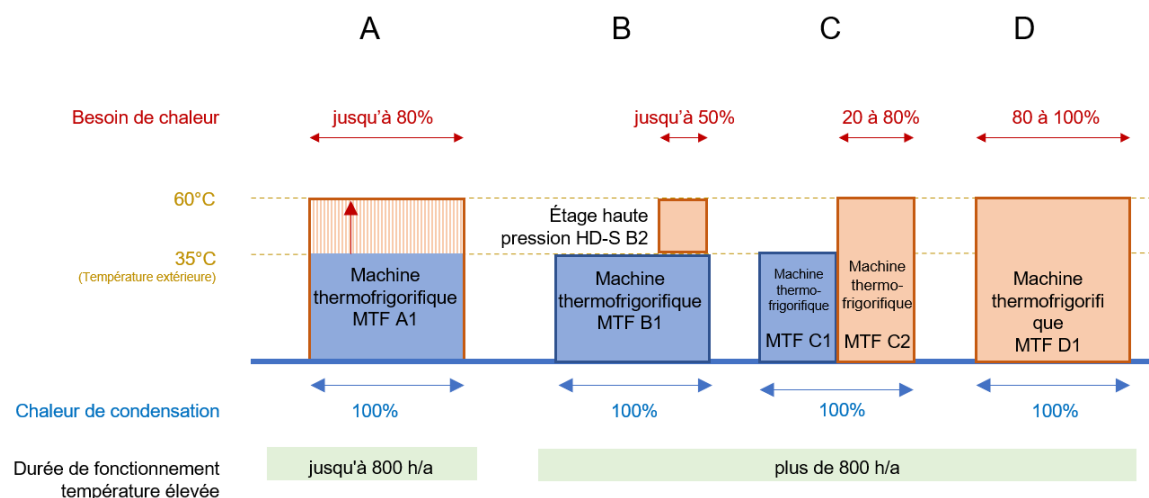
Différents facteurs influencent l'utilisation de la chaleur lorsque les consommateurs de chaleur ont besoin de températures aller supérieures à 60 °C.

La figure 22 montre des combinaisons possibles. Outre l'analyse concernant la rentabilité (taille de l'installation), les réflexions concernant la redondance et le type d'intégration hydraulique, les points suivants ont une influence sur l'utilisation de la chaleur:

- durée de fonctionnement annuelle de la machine thermofrigorifique à haute température,
- part de la chaleur de condensation qui peut être utilisée à des «fins de chauffage» (besoin de chaleur).

- Situation A** Utilisation de la chaleur inférieure à 800 heures par an
Besoin de chaleur 0% à 80% de la chaleur de condensation
→ Une machine thermofrigorifique (MTF A1 dans la figure 22) à 100% de la puissance qui augmente la température de condensation à 60 °C pendant l'utilisation de la chaleur. Si aucun «cas de chauffage» n'est prévu, il est procédé à la condensation au moyen de la température extérieure.
- Situation B** Utilisation de la chaleur supérieure à 800 heures par an
Besoin de chaleur 0% à 50% de la chaleur de condensation
→ Une machine thermofrigorifique (MTF B1 dans la figure 22) à 100% de la puissance qui procède à la condensation au moyen de la température extérieure.
→ Grâce à un étage haute pression pouvant être activé (HD-S B2 dans la figure 22), ou à une petite pompe à chaleur, une partie de la chaleur de la machine thermofrigorifique (MTF B1) est chauffée à une température élevée (par ex. 60 °C).
- Situation C** Utilisation de la chaleur inférieure à 800 heures par an
Besoin de chaleur 20% à 80% de la chaleur de condensation
→ Une machine thermofrigorifique (MTF C1 dans la figure 22) qui couvre une partie de la puissance et qui procède à la condensation au moyen de la température extérieure.
→ Une machine thermofrigorifique (MTF C2 dans la figure 22) qui couvre l'autre partie de la puissance et qui émet la chaleur à la température élevée (par ex. 60 °C).
- Situation D** Utilisation de la chaleur supérieure à 800 heures par an
Besoin de chaleur 80% à 100% de la chaleur de condensation
→ Une machine thermofrigorifique (MTF D1 dans la figure 22) qui présente une température de condensation augmentée et qui émet la chaleur à la température élevée (par ex. 60 °C).

Figure 22 Variantes de consommateurs de chaleur qui exigent des températures élevées



Annexe G (informative)

Régulation de la température aller

G.1 Régulation de la température aller de systèmes de refroidissement conduisant de l'eau

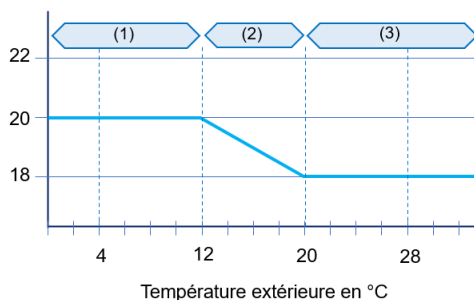
G.1.1 Réglage de base

Une stratégie de régulation concernant la régulation de la température aller des systèmes de refroidissement conduisant de l'eau est décrite à la figure 23:

- En cas de températures extérieures jusqu'à 12 °C, la valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) est réglée de manière constante à 20 °C (1).
- En cas de températures extérieures entre 12 °C et 20 °C, la valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) est baissée de façon continue à 18 °C (2).
- Dans le cas de températures extérieures jusqu'à 20 °C, la valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) est réglée de manière constante à 18 °C (3).

Figure 23 Réglage de base de la régulation de la température aller (exemple)

Valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) en °C



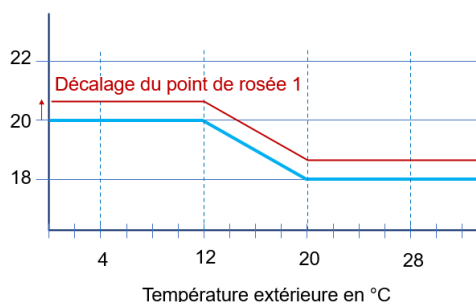
G.1.2 Décalage du point de rosée 1

Le décalage du point de rosée 1 (voir figure 24) permet d'éviter la formation de condensation sur les surfaces. La valeur de consigne de la température d'eau froide est alors décalée comme suit:

- Lorsque l'humidité dans le local s'approche du point de rosée, le régulateur du point de rosée le signale à la régulation. Cette dernière augmente la valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) de 0,5 K par exemple (valeur empirique: 0,5K à 1,0K).
- Dès que l'humidité dans le local est descendue à une valeur nettement inférieure au point de rosée, la valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) est réinitialisée.

Figure 24 Décalage du point de rosée 1 (exemple)

Valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) en °C



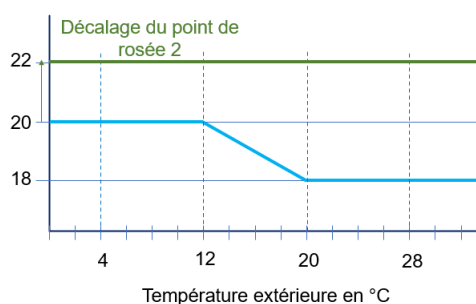
G.1.3 Décalage du point de rosée 2

Le décalage du point de rosée 2 (voir figure 25) est un élément de sécurité qui complète le décalage du point de rosée 1 (par exemple en cas de panne). En outre, le décalage du point de rosée 2 minimise le risque de formation de condensation durant les premières années d'exploitation, jusqu'à ce que l'installation soit bien réglée.

Pour le décalage du point de rosée 2, un détecteur de point de rosée est installé sur la conduite principale d'eau froide. Si celui-ci signale une formation de condensation, cette information est alors transmise à la machine thermofrigorifique et à la gestion technique du bâtiment (GTB). La machine thermofrigorifique augmente la température aller d'eau froide à 22 °C. En même temps, la GTB ouvre toutes les vannes de refroidissement, ce qui fait que tous les circuits de refroidissement sont activés. Grâce à la température aller élevée de l'eau froide, les surfaces des conduites de froid sèchent et le mode refroidissement peut ensuite être repris plus rapidement. Il est important de ne pas arrêter l'installation frigorifique.

Figure 25 Décalage du point de rosée 2 (exemple)

Valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) en °C



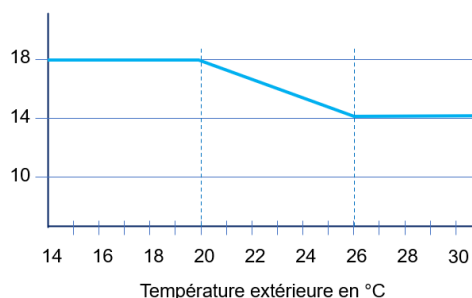
G.2 Régulation de la température aller dans le cas de refroidisseurs d'air

G.2.1 Réglage de base

Concernant les refroidisseurs d'air, la valeur de consigne de la température aller (voir figure 26) doit toujours être adaptée au besoin de refroidissement effectif et à la température correspondante de l'air fourni.

Figure 26 Valeur de consigne de la température aller dans le cas de refroidisseurs d'air (exemple)

Valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) en °C



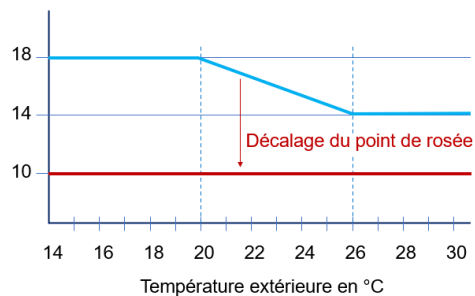
G.2.2 Décalage du point de rosée

Dans le cas des refroidisseurs d'air, l'humidité dans le local doit être maintenue nettement en dessous du point de rosée en abaissant au besoin la valeur de consigne de la température aller (voir figure 27) de manière si importante qu'une déshumidification partielle de l'air fourni a lieu.

Lorsque l'humidité dans le local s'approche du point de rosée, le régulateur du point de rosée le signale à la machine thermofrigorifique. Cette dernière réduit la valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) à 10 °C. Ainsi, l'air fourni est partiellement déshumidifié dans les refroidisseurs d'air. Dès que l'humidité dans le local est descendue à une valeur nettement inférieure au point de rosée, la valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) est de nouveau augmentée.

Figure 27 Décalage du point de rosée de la température aller dans le cas de refroidisseurs d'air (exemple)

Valeur de consigne de la température d'eau froide (aller) en °C



Annexe H (informative)

Circuits hydrauliques de la distribution de froid

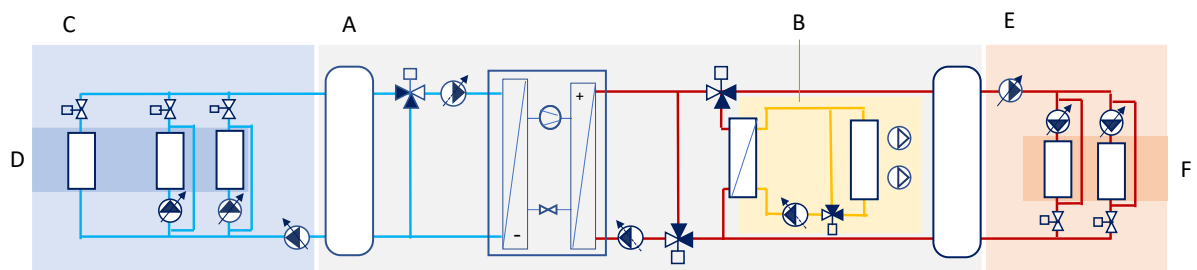
H.1 Généralités

H.1.1 Le bon fonctionnement d'une installation frigorifique dépend de la bonne conception des circuits hydrauliques.

H.1.2 L'installation est composée des parties suivantes (voir figure 28):

- A Production de froid
- B Post-refroidisseur
- C Distribution de froid
- D Système d'émission de froid
- E Distribution de chaleur
- F Système d'émission de chaleur

Figure 28 Vue d'ensemble des parties hydrauliques d'une installation frigorifique



H.1.2.1 La production de froid «A» comprend:

- machine thermofrigorifique,
- accumulateur de froid, accumulateur de chaleur,
- pompes de circulation.

H.1.2.2 Le post-refroidisseur «B» comprend:

- post-refroidisseur avec le dispositifs auxiliaires (ventilateurs),
- récupérateur de chaleur,
- réseau de conduites entre le récupérateur de chaleur ou producteur et le post-refroidisseur,
- pompes de circulation.

H.1.2.3 La distribution de froid «C» comprend:

- réseau de conduites entre la production et le système d'émission,
- distributeur de froid (y compris vannes de régulation),
- pompes de circulation.

H.1.2.4 Le système d'émission de froid «D» comprend:

- plafonds rafraîchissants, baffles de refroidissement, voiles de refroidissement, systèmes de composants thermoactifs,
- convecteurs, refroidisseurs d'air ambiant, refroidisseurs d'air.

H.1.2.5 La distribution de chaleur «E» comprend:

- réseau de conduites entre la production et le système d'émission,
- distributeur de chaleur (y compris les vannes de régulation),
- pompes de chauffage.

H.1.2.6 Le système d'émission de chaleur «F» comprend:

- radiateurs, murs chauffants, chauffages au sol, plafonds chauffants, systèmes de composants thermoactifs,
- convecteurs, réchauffeurs d'air,
- le cas échéant, chauffe-eaux.

H.2 Circuits hydrauliques de base

H.2.1 Il existe quatre circuits hydrauliques de base:

- circuit d'adjonction,
- circuit d'injection,
- circuit de déviation,
- circuit d'étranglement.

H.2.2 Du fait du type de vanne de régulation ou en installant un bypass supplémentaire, on obtient deux autres circuits:

- circuit d'injection avec vanne à deux voies,
- circuit d'adjonction avec bypass constant.

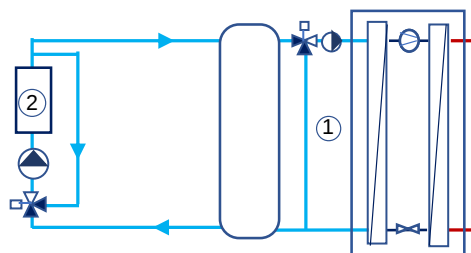
H.2.3 Les circuits hydrauliques sont divisés en deux catégories:

- régulations de la température,
- régulations du débit.

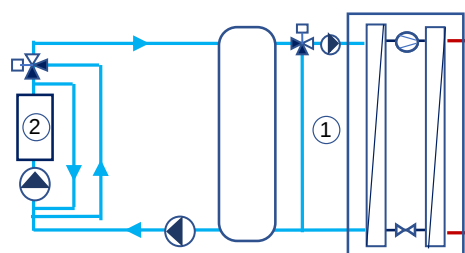
H.2.4 Régulations de la température

Avec une régulation de la température, la température du fluide est modifiée à l'entrée dans le consommateur. Cela permet d'adapter la puissance (de refroidissement) du consommateur. Pour les régulations de la température, une pompe de circulation est nécessaire dans le circuit du consommateur.

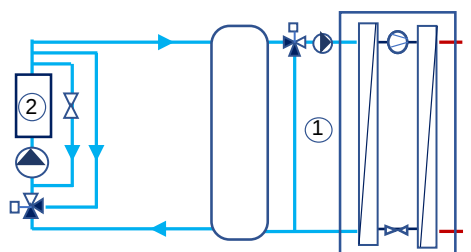
Figure 29 Circuits possibles avec régulation de la température



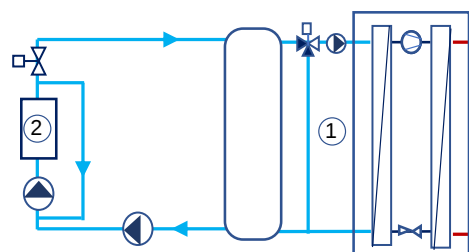
Circuit d'adjonction, sans pompe principale (faible pression)



Circuit d'injection avec organe de régulation à trois voies
(Dans la mesure du possible, ce circuit ne doit pas être utilisé dans le cas de distributions de froid «C»)



Circuit d'adjonction avec bypass constant, sans pompe principale (faible pression)



Circuit d'injection avec vanne à deux voies

① = Production de froid «A»

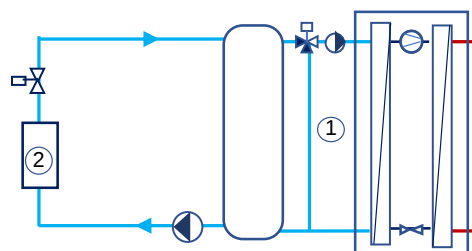
② = Système d'émission de froid «D»

La température aller du système d'émission de froid «D» doit toujours être supérieure et jamais inférieure à la température aller en provenance de la production de froid «A».

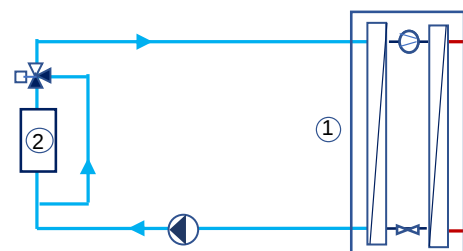
H.2.5 Régulations du débit

Les régulations du débit entraînent un changement de puissance dans le consommateur du fait de la variation du débit volumique dans le consommateur.

Figure 30 Circuits possibles avec régulation du débit



Circuit d'étranglement



Circuit de déviation

(Dans la mesure du possible, ne pas utiliser ce circuit dans le cas de distributions de froid «C», car la température de retour baisse lors du fonctionnement en charge partielle, ce qui fait que le système ne travaille pas de manière efficace sur le plan énergétique.)

① = Production de froid «A»

② = Système d'émission de froid «D»

La température aller dans le système d'émission de froid «D» est identique à la température aller en provenance de la production de froid «A».

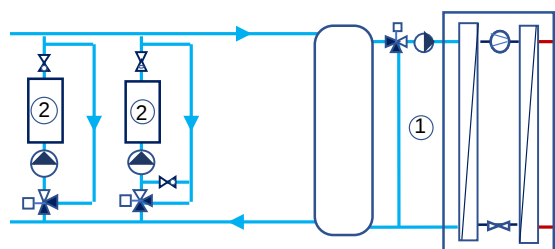
H.3 Distribution

Les distributeurs et les collecteurs peuvent être classés comme suit:

- distributeurs avec ou sans pompe principale,
- distributeurs sous pression ou à faible pression,
- débit volumique constant ou variable par le biais du producteur,
- température de retour élevée ou basse vers le producteur.

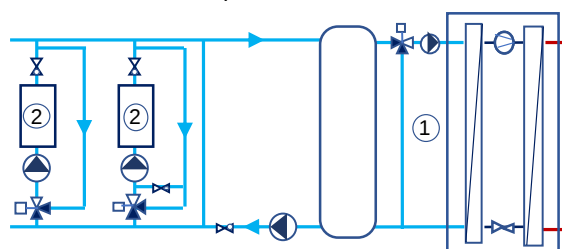
Figure 31 Circuits possibles pour la distribution

Distributeur sans pompe principale



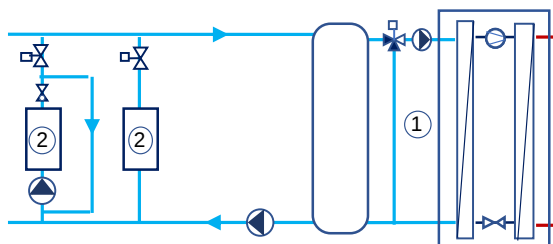
- circuit d'adjonction avec/sans bypass constant
- température de retour élevée
- pour installations avec accumulateur (il convient de viser une distance la plus réduite possible entre l'accumulateur et le distributeur)
- pour producteurs avec débit volumique variable (veiller au débit minimal du producteur)

Distributeur avec pompe principale, Distributeur à faible pression



Ce circuit n'est pas adapté aux installations frigorifiques.

Distributeur avec pompe principale
(débit volumique variable), sous pression

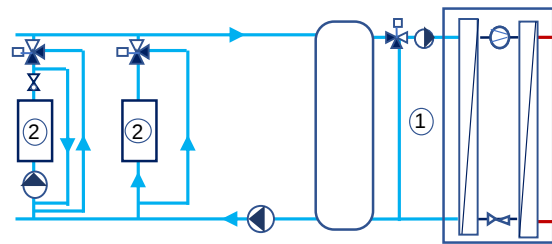


- circuit d'étranglement, circuit d'injection avec vanne à 2 voies
- température de retour élevée
- pour installations avec accumulateur (grande distance entre accumulateur et distributeur)
- pour producteurs avec débit volumique variable (veiller au débit minimal du producteur)

① = Production de froid «A»

② = Système d'émission de froid «D»

Distributeur avec pompe principale
(débit volumique constant), sous pression



- Ce circuit n'est pas habituel dans le cas de distributions de froid «C» et il n'est pas non plus adapté car il conduit à des températures de retour basses. De ce fait, le système ne travaille pas de manière économe en énergie.)

H.4 Procédure de sélection

Les systèmes actuels de distribution et d'émission doivent de préférence être conçus, conformément à l'état actuel de la technique, avec un débit volumique variable et une mesure de la pression différentielle pour la régulation des pompes de circulation. Le tableau 20 indique quels circuits hydrauliques sont adaptés à quelles applications.

Tableau 20 Vue d'ensemble des circuits hydrauliques

Applications	Circuit hydraulique			
	Circuit d'étranglement	Circuit d'injection avec vanne à deux voies	Circuit d'ad-jonction avec vanne à trois voies et avec pré-mélange fixe	Circuit d'ad-jonction avec vanne à trois voies
Distribution de froid – Groupes d'approvisionnement (voir C dans H.1.2)				
Groupes de refroidissement pour: – composants thermoac-tifs – plafonds rafraîchissants – baffles de refroidisse-ment – voiles de refroidissement	✗	✓	✓	✓
Groupes de refroidissement pour: – convecteurs – refroidisseurs d'air am-biant	✓	✓	✓	✓
Groupes de refroidissement pour: – refroidisseurs d'air <u>sans</u> déshumidification régu-lée	(✓)	✓	✗	✓
Groupes de refroidissement pour: – refroidisseurs d'air <u>avec</u> déshumidification régu-lée	✓	(✓)	✗	(✓)
Caractéristiques distributeurs				
Raccord présentant une différence de pression	✓	✓	✗	✗
Raccord à faible pression (sans pompe principale)	✗	✗	✓	✓
Caractéristiques températures				
La température aller minimale vers les con-sommateurs de froid est identique à la tempé-rature provenant de la production de froid.	✓	(✓)	✗	(✓)
La température aller minimale vers les con-sommateurs de froid est supérieure à la tem-pérature provenant de la production de froid.	✗	✓	✓	✓

✓ = convient (✓) = convient sous condition ✗ = ne convient pas

En ce qui concerne les distributions de froid (groupes d'approvisionnement), il est préférable d'éviter les confi-gurations suivantes:

- distributions avec un débit volumique constant,
- utilisation de circuits de déviation et
- utilisation de circuits d'injection avec organe de régulation à trois voies.

Annexe I (informative)

Post-refroidisseurs

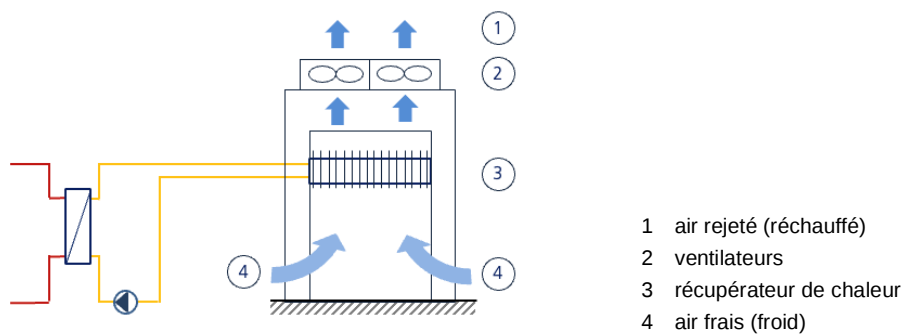
I.1 Post-refroidisseurs: exigences et recommandations

Ci-après sont énumérées des exigences, des recommandations et des informations au sujet de différents types de post-refroidisseurs. La présente norme ne prétend pas présenter une énumération exhaustive des différentes technologies.

I.2 Systèmes de post-refroidissement à sec

- I.2.1 Les post-refroidisseurs à sec (voir figure 32) évacuent la chaleur vers l'air ambiant par convection. La température extérieure pertinente pour le dimensionnement est déterminée sur la base de la température extérieure (température de l'air sensible, température de bulbe sec de l'air).

Figure 32 Post-refroidisseur à sec



- I.2.2 Les post-refroidisseurs à sec nécessitent moins d'entretien et sont plus faciles à exploiter que les post-refroidisseurs à évaporation. Par contre, ils sont plus encombrants.

I.3 Systèmes de post-refroidissement à évaporation

Avec les post-refroidisseurs à évaporation, l'effet de refroidissement est obtenu exclusivement ou en plus par l'évaporation d'eau, selon la technologie. Cela permet d'aboutir à une densité de puissance importante.

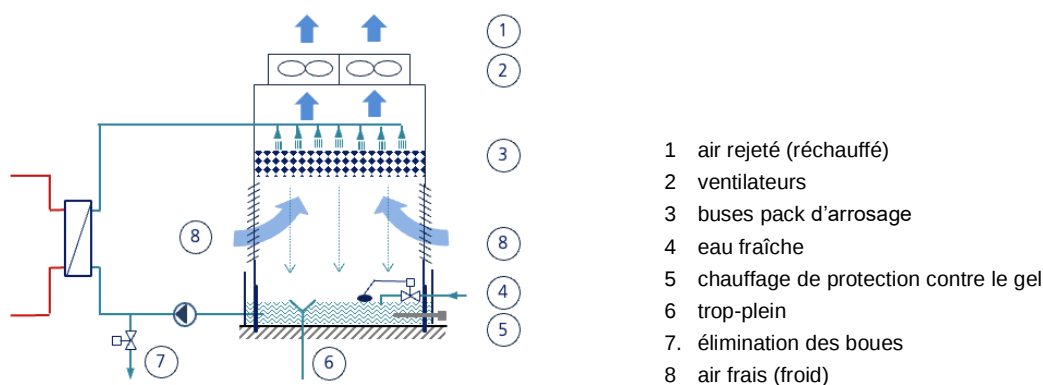
- I.3.1 Concernant les post-refroidisseurs à évaporation, il faut tenir compte des points suivants:
- Les systèmes de post-refroidissement à évaporation sont particulièrement intéressants d'un point de vue énergétique lorsque les températures extérieures sont élevées (supérieures à 25 °C).
 - Durant l'intersaison, un système de post-refroidissement à évaporation permet d'abaisser suffisamment la température de l'air extérieur pour qu'il soit possible de refroidir avec un free-cooling indirect, lors duquel la machine thermofrigorifique est arrêtée.
 - Lors de l'évaluation de l'efficacité énergétique de la production de froid, il convient de prendre en considération, outre les besoins en énergie des machines thermofrigorifiques, la consommation d'énergie des entraînements auxiliaires du post-refroidisseur (ventilateurs, pompes de circulation et consommation d'énergie du traitement de l'eau).
 - Les post-refroidisseurs à évaporation nécessitent un entretien plus important et ils sont plus complexes dans leur fonctionnement que les post-refroidisseurs à sec, ce qui doit être pris en considération lors de l'évaluation des coûts d'exploitation et de maintenance.
 - Dans le cas de systèmes de post-refroidissement à évaporation, il convient d'accorder une grande attention aux risques liés à l'hygiène (prolifération de germes). Du point de vue de l'hygiène, les systèmes de post-refroidissement à évaporation sans eau de circulation stagnante sont préférables.

- Dans le cas de tous les systèmes de post-refroidissement dotés d'un circuit d'eau de mouillage ouvert et d'une pompe de recirculation, la qualité de l'eau doit être contrôlée en permanence au moyen d'une surveillance de la conductance. Si la qualité de l'eau ne correspond plus aux spécifications du fabricant, un système automatique doit remplacer l'eau épaissie (élimination des boues).
- La température extérieure pertinente pour le dimensionnement est déterminée sur la base de la température de bulbe sec de l'air extérieur.
- Les récupérateurs de chaleur doivent être résistants à la corrosion (acier inoxydable, cuivre ou revêtement intégral).
- Les tours de refroidissement et les post-refroidisseurs hybrides atteignent une densité de puissance importante.

I.3.2 Tour de refroidissement ouverte

Les tours de refroidissement ouvertes (voir figure 33) n'ont pas de récupérateur de chaleur, une partie de l'eau de refroidissement s'évapore directement.

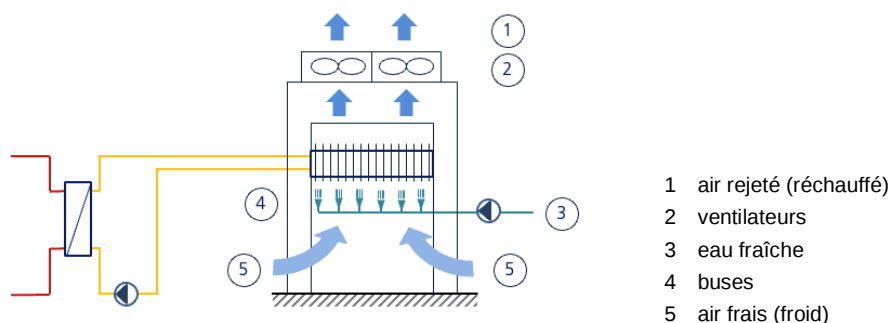
Figure 33 Tour de refroidissement ouverte



I.3.3 Tour de refroidissement fermée

Les tours de refroidissement fermées (voir figure 34) sont dotées d'un récupérateur de chaleur relativement petit en termes de surface, dans lequel l'eau de refroidissement est refroidie par évaporation de l'eau de mouillage.

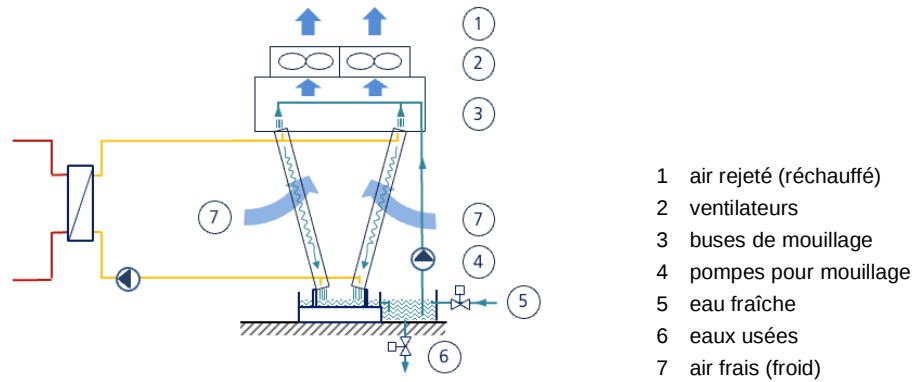
Figure 34 Tour de refroidissement fermée



I.3.4 Post-refroidisseur hybride avec système de ruissellement

- #### I.3.4.1
- Les post-refroidisseurs hybrides présentent des surfaces de récupération de chaleur relativement grandes (de taille similaire à celles des post-refroidisseurs à sec) qui sont cependant mouillées avec de l'eau (voir figure 35). Ils représentent une combinaison de post-refroidisseur à sec et de tour de refroidissement fermée.

Figure 35 Post-refroidisseur hybride avec système d'arrosage

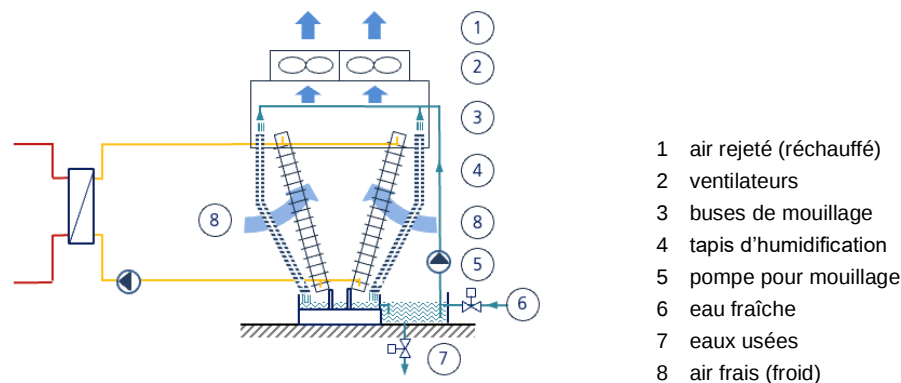


- I.3.4.2 Les post-refroidisseurs hybrides avec systèmes d'arrosage sont principalement utilisés pour les installations, dans lesquelles:
- l'échangeur de chaleur est mouillé durant la majeure partie de l'année, afin qu'un récupérateur de chaleur plus petit et moins encombrant puisse être utilisé,
 - une température ambiante élevée conduit à une réduction importante de l'efficacité et de la puissance de refroidissement, jusqu'à rendre critiques les limites d'utilisation (par ex. dans le cas du fluide frigorigène CO₂).

I.3.5 Post-refroidisseur adiabatique avec tapis d'humidification

- I.3.5.1 Dans le cas de post-refroidisseurs adiabatique avec tapis d'humidification selon la figure 36, l'air ambiant est guidé à travers des tapis d'humidification où il est pré-refroidi par l'évaporation de l'eau. Les surfaces de récupération de chaleur restent toujours sèches. Sur le plan de la construction, il s'agit de post-refroidisseurs à sec.

Figure 36 Post-refroidisseur adiabatique avec tapis d'humidification



- I.3.5.2 Les post-refroidisseurs adiabatiques sont principalement utilisés pour des installations dans lesquelles:
- l'air ambiant chaud ne doit être pré-refroidi que durant 500 à 1000 heures de service par an, ce qui permet d'utiliser un récupérateur de chaleur plus petit (encombrement réduit),
 - une température ambiante élevée conduit à une réduction importante de l'efficacité et de la puissance de refroidissement, jusqu'à rendre critiques les limites d'utilisation (par ex. dans le cas du fluide frigorigène CO₂).
- I.3.5.3 Les tapis d'humidification sont installés fin mai pour le fonctionnement adiabatique en plein été. Début septembre, ils sont de nouveau démontés, car la perte de pression côté air réduit le flux d'air pendant les mois durant lesquels aucun fonctionnement adiabatique n'a lieu, diminuant ainsi l'efficacité.

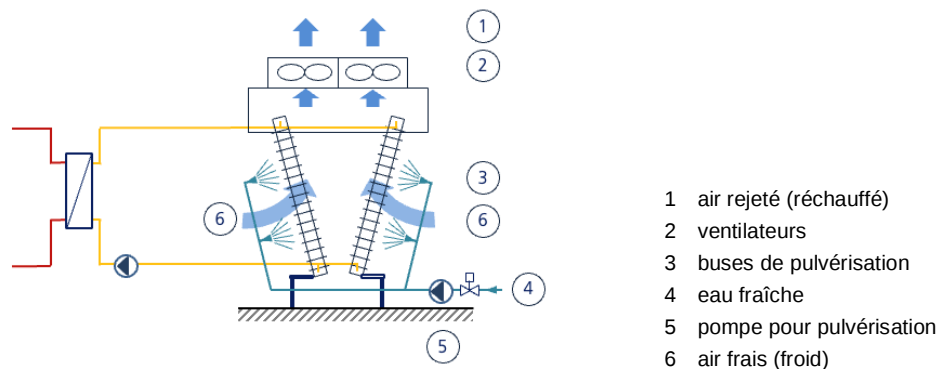
I.3.6 Post-refroidisseur adiabatique avec pulvérisation

I.3.6.1 Dans le cas de ce type de post-refroidisseur (voir figure 37), de l'eau est pulvérisée et refroidit l'air ambiant par évaporation. L'air pré-refroidi entre dans le post-refroidisseur, ce qui aboutit à un effet de refroidissement plus important. Une partie de l'eau pulvérisée humidifie en outre les surfaces de récupération de chaleur, ce qui lui permet d'obtenir un effet de refroidissement supplémentaire par évaporation. Les surfaces de récupération de chaleur deviennent humides. Sur le plan de la construction, il s'agit cependant d'un post-refroidisseur à sec.

Les post-refroidisseurs adiabatiques avec arrosage sont principalement utilisés pour les installations, dans lesquelles:

- l'air ambiant chaud ne doit être pré-refroidi que durant 50 à 100 heures de service par an, ce qui permet d'utiliser un récupérateur de chaleur plus petit (encombrement réduit),
- une température ambiante élevée conduit à une réduction importante de l'efficacité et de la puissance de refroidissement, jusqu'à rendre critiques les limites d'utilisation (par ex. dans le cas du fluide frigorigène CO₂).

Figure 37 Post-refroidisseur adiabatique avec pulvérisation



I.3.6.2 Les post-refroidisseurs adiabatiques avec pulvérisation nécessitent des récupérateurs de chaleur plus petits. De ce fait, ces systèmes sont moins encombrants.

I.3.6.3 Les dépôts de saletés et, le cas échéant, la formation d'une croûte sèche sur le récupérateur de chaleur du fait de la pulvérisation peuvent cependant conduire à une efficacité réduite sur toute l'année.

I.3.6.4 Les exigences envers la qualité de l'eau (eau non traitée, eau traitée, etc.) sont spécifiées par le fournisseur et dépendent des heures de service annuelles dans le cas de nombreux produits.

I.3.6.5 Les récupérateurs de chaleur disposent d'au moins une protection simple contre la corrosion (par ex. revêtement époxy).

Annexe J (informative)

Fluide frigorigène

J.1 Généralités

- J.1.1 Outre les spécifications concernant la commercialisation des fluides frigorigènes, les points suivants figurant dans l'ORRChim [12] doivent être plus particulièrement pris en compte:
- Il existe une obligation de déclaration concernant les installations qui contiennent plus de trois kilogrammes de fluide frigorigène.
 - Lors de la mise en service et de la mise hors service, le propriétaire doit enregistrer ou encore désenregistrer les installations auprès du bureau d'enregistrement [24]. En outre, il doit enregistrer les installations qui sont déjà en service.
 - Un carnet d'entretien doit être tenu pour tous les appareils ou installations contenant plus de trois kilogrammes de fluide frigorigène.
 - Il convient de vérifier périodiquement l'étanchéité de tous les appareils ou installations qui contiennent plus de trois kilogrammes de fluide frigorigène détruisant la couche d'ozone ou stables dans l'air. La périodicité et le type du contrôle d'étanchéité dépendent du type d'appareil ou d'installation.
- J.1.2 Pour l'utilisation correcte des fluides frigorigènes dans le cas d'installations de refroidissement, les documents suivants sont en outre à la disposition des planificateurs:
- aide à l'exécution «Installations contenant des fluides frigorigènes: du concept jusqu'à la mise sur le marché» [21],
 - aide à l'exécution «Installations et appareils contenant des fluides frigorigènes: exploitation et entretien» [22],
 - guide des fluides frigorigènes [52].

J.2 Fluides frigorigènes CFC et HCFC

L'utilisation de CFC (chlorofluorocarbures) et de HCFC (hydrochlorofluorocarbures partiellement halogénés) en tant que fluides frigorigènes est interdite conformément à l'ORRChim [12] en raison de leur effet destructeur d'ozone.

J.3 Fluide frigorigène HCFO

L'utilisation de HCFO (hydrochlorofluoroléfine) a un potentiel effet destructeur d'ozone et, sauf exception, sa mise sur le marché est interdite. Détails, voir l'ORRChim [12].

J.4 Fluides frigorigènes HFC et leurs mélanges

Les fluorocarbones entièrement ou partiellement halogénés (HFC) et leurs mélanges sont des fluides frigorigènes synthétiques et stables dans l'air. Les exigences en lien avec leur mise sur le marché sont réglementées dans l'ORRChim [12].

J.5 Fluide frigorigène HFO

- J.5.1 Les fluides frigorigènes oléfine fluorée partiellement halogénés (HFO) sont des fluides frigorigènes synthétiques, non stables dans l'air. Les exigences en lien avec leur mise sur le marché sont réglementées dans l'ORRChim [12].
- J.5.2 Les produits de décomposition des fluides frigorigènes HFO sont toxiques et demeurent longtemps dans l'environnement. Un durcissement de la réglementation est donc prévisible dans les années à venir.

J.6 Fluide frigorigène naturel

Les fluides frigorigènes naturels ne posent pas de problème en ce qui concerne leur impact sur l'environnement et leur mise sur le marché n'est pas restreinte par l'ORRChim [12].

J.7 Effet de serre

J.7.1 Le «Total Equivalent Warming Impact» (TEWI) comprend tous les effets de serre générés par l'exploitation d'une installation frigorifique (émissions de fluides frigorigènes et consommation d'électricité). Le TEWI est par conséquent une grandeur pour l'évaluation de toutes les contributions directes et indirectes à l'effet de serre de l'installation de refroidissement, et il offre une bonne base de décision lors de l'évaluation de l'installation frigorifique.

J.7.2 Pour le calcul du TEWI, il est recommandé d'utiliser un outil de calcul standardisé et reconnu, comme par exemple l'outil du froid [51].

J.8 Sécurité et fluides frigorigènes

Lorsque des fluides frigorigènes sont utilisés, il convient de tenir compte de la sécurité des personnes et des installations ainsi que de l'impact sur l'environnement.

J.8.1 Sécurité des personnes et des installations

J.8.1.1 Outre l'ORRChim [12], la série de normes SN EN 378-1 à 4 (voir tableau 21) est particulièrement importante pour le processus de planification. Elle définit les exigences concernant

- le lieu d'installation,
- l'accessibilité,
- la construction de l'installation et
- les équipements et exigences de sécurité nécessaires en fonction du lieu d'installation, du fluide frigorigène choisi et de la quantité de remplissage de fluide frigorigène.

Tableau 21 Vue d'ensemble des contenus de la SN EN 378-1 à -4

Document	Table des matières
SN EN 378-1	Exigences de base, termes, classification, et critères de choix – Catégories des zones d'accès – Désignation et classification du fluide frigorigène – Classification des lieux d'installation d'installations frigorifiques – Classification d'installations frigorifiques – Quantité de fluide frigorigène maximale autorisée – Évaluation des risques et dangers pour tous les locaux, dans lesquels se trouvent des éléments conduisant du fluide frigorigène.
SN EN 378-2	Construction, fabrication, contrôle, marquage et documentation – Cette norme concerne exclusivement les fabricants d'installations frigorifiques et elle ne sera pas expliquée plus en détail ici.

Document	Table des matières
SN EN 378-3	Lieu d'installation et protection des personnes et des systèmes – Disposition des composants frigorifiques – Locaux de machines – Accès aux locaux de machines – Ventilation du local de machines ou à travers ce dernier – Installations d'incinération, compresseur d'air, flammes nues – Stockage – Arrêt d'urgence à distance – Tuyauteries et canalisations – Éclairage général et éclairage de secours – Dimensions et accessibilité – Portes, murs et canalisations, ouvertures conduisant vers l'extérieur – Ventilation – Installations électriques – Systèmes de sécurité et d'alarme – Détecteurs – Manuels d'utilisation, indications et contrôles – Sources de chaleur et températures temporairement élevées sur le lieu d'installation
SN EN 378-4	Exploitation, maintenance, remise en état et récupération – Cette norme concerne des fluides frigorigènes et la quantité de remplissage de fluide frigorigène, et elle s'appuie fortement sur l'ordonnance européenne concernant les gaz fluorés. Comme l'ordonnance concernant les gaz fluorés n'est pas valable en Suisse, cette partie ne sera pas expliquée plus en détail ici. En Suisse, les informations complémentaires concernant l'exploitation, la maintenance, la remise en état et la récupération sont réglementées dans l'ORRChim [12].

J.8.1.2 D'autres directives et fiches d'information suisses importantes se trouvent dans le tableau 22.

Tableau 22 Normes, directives et fiches d'information suisses importantes

Organisation	Titre	Contenu
Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail (CFST)	– Directive gaz liquéfiés [39] – Directive liquides inflammables [36] – Ammoniac: entreposage et manipulation [37]	Les directives CFST indiquent comment exploiter en toute sécurité des installations et des dispositifs.
SUVA	– Exploiter en toute sécurité des installations frigorifiques et des pompes à chaleur [34] – Protection contre les explosions – principes, exigences minimales, zones [35]	Les feuillets d'information SUVA informent sur ce qui doit être pris en considération en matière de prévention des accidents pour éviter des événements et des accidents.
Association Suisse des Constructeurs de Systèmes de Sécurité (SES)	– Systèmes de détection de gaz [64] – Détection de gaz dans les systèmes frigorifiques et les pompes à chaleur [58]	La directive et le feuillet d'information indiquent ce qu'il convient de prendre en compte lors de la planification de l'installation d'un système de détection de gaz pour installations frigorifiques ou pompes à chaleur.
Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI)	– Directive de protection incendie [41]	La norme réglemente la manipulation et l'utilisation de substances présentant des risques d'incendie et d'explosion.

J.8.1.3 Il faut en particulier prendre en compte les prescriptions de sécurité spécifiques aux objets et aux clients (par ex. prisons, système de santé, installations militaires, etc.). Elles comportent des exigences spécifiques envers les locaux de machines, dans lesquels sont exploitées des machines avec des fluides frigorigènes inflammables et/ou toxiques.

J.8.2 Sécurité par rapport à l'impact sur l'environnement

Concernant la sécurité par rapport à l'impact de l'installation frigorifique sur l'environnement, les organisations mentionnées dans le tableau 23 ont élaboré des spécifications, des documents et des recommandations.

Tableau 23 Spécifications et documents concernant la sécurité environnementale d'installations frigorifiques

Organisation	Titre
Office fédéral de l'environnement (OFEV)	– ORRChim (détecteurs, entretien, contrôle d'étanchéité, fluides frigorigènes) [12] – Prévention d'incidents dans le cas d'installations frigorifiques [13]
Office fédéral de l'énergie (OFEN)	– Ouvrage spécialisé «Froid de confort aujourd'hui – Solutions intelligentes pour un climat intérieur agréable» [48]
SuisseEnergie – campagne froid efficace	– Guide des fluides frigorigènes pour spécialistes du chauffage, de la ventilation et de la climatisation [52] – Outillage frigoriste (calcul et comparaison de deux installations frigorifiques en termes de consommation d'électricité, d'émissions de gaz à effet de serre et de rentabilité) [51] – diverses listes de contrôle, guides et outils pour nouvelles constructions, renouvellements et optimisations [49], [50], [53]
ASF Association suisse du froid	– Aide-mémoire «Contrôle d'étanchéité – recommandations de l'ASF en complément des prescriptions selon l'ORRChim» [54] – Aide-mémoire «Sécurité et hygiène en relation avec des circuits secondaires» [60] – Aide au travail numérique relative à SN EN 378 [61] – FAQ relatives à SN EN 378 [62] – FAQ relatives à l'ORRChim et aux aides à l'exécution correspondantes [63]

J.8.3 En outre, les prescriptions locales doivent être prises en compte en particulier par rapport à la protection incendie, aux voies d'évacuation et à la construction.

J.8.4 La plupart⁶ des fluides frigorigènes fluorés et les principaux fluides frigorigènes HFO font partie du groupe de substances des composés d'alkyle perfluorés et polyfluorés (PFAS). L'impact des PFAS sur les personnes et l'environnement est incertain, mais certains PFAS sont aujourd'hui considérés comme des substances particulièrement inquiétantes. Les PFAS sont problématiques dans l'environnement parce qu'ils ne sont (pratiquement) pas dégradables. Même si les fluides frigorigènes ne sont pas considérés comme les principaux coupables de la pollution environnementale avec des PFAS, leur rejet dans l'environnement doit être évité dans la mesure du possible.

⁶ R23, R32, R152a, R141b et R1132a constituent des exceptions

Annexe K (informative)

Modèle d'étude de la viabilité économique

K.1 Rentabilité

Une solution écologique et préservant les ressources énergétiques (par ex. une installation frigorifique de climatisation avec utilisation de la chaleur) est considérée comme économique, lorsque le coût de son cycle de vie excède celui de la solution conventionnelle (par ex. installation frigorifique de climatisation sans utilisation de la chaleur) de moins de 5%.

K.2 Calcul du coût du cycle de vie (modèle)

Le coût du cycle de vie LCC est calculé selon la méthode statistique, conformément à SIA 480. Il s'agit en fait d'un modèle de calcul permettant de comparer les différentes solutions. Pour le modèle de calcul, on utilise des valeurs et des facteurs standardisés, de façon à garantir l'uniformité et la comparabilité. Il ne constitue pas une évaluation économique de l'installation de refroidissement.

$$LCC_{an} = AC_{an} + I_{an} + EC_{an} + MC_{an} - HR_{an} \quad (8)$$

$$AC_{an} = \frac{IC}{t_{use}} \quad (9)$$

$$I_{an} = \frac{IC \times i}{2} \quad (10)$$

LCC_{an}	coûts du cycle de vie rapportés sur une année, en CHF
AC_{an}	coûts d'amortissement annuels pendant la durée d'utilisation, en CHF
I_{an}	charge d'intérêts annuelle pendant la durée d'utilisation, en CHF
EC_{an}	coûts d'électricité annuels de la machine thermofrigorifique, en CHF
MC_{an}	coûts de maintenance annuels de l'installation frigorifique (voir K.2.4), en CHF
HR_{an}	rendement calorifique annuel qui est obtenu avec la machine thermofrigorifique, en CHF
IC	coûts d'investissement installation frigorifique, en CHF
t_{use}	durée d'utilisation, en années
i	taux d'intérêt de calcul, en %

K.2.1 Coûts d'amortissement

Les coûts d'amortissement annuels sont calculés à partir des coûts d'investissement IC et de la durée d'utilisation t_{use} . Si des éléments différents ont des durées d'utilisation différentes, les coûts d'investissement doivent être délimités, divisés par la durée de vie respective et ajoutés aux coûts du cycle de vie calculés.

par ex. production de froid avec $t_{use} = 15$ ans
 accumulateur de froid avec $t_{use} = 25$ ans

$$AC_{an} = \frac{IC_r}{15 \text{ ans}} + \frac{IC_{c,sto}}{25 \text{ ans}}$$

Coûts d'investissement (IC)	– Les investissements comprennent les dépenses pour l'établissement de la production de froid (voir H.1.2.1), du post-refroidisseur (y compris le traitement de l'eau dans le cas de systèmes de post-refroidissements humides, voir H.1.2.2) ainsi que le travail de planification.
Durée d'utilisation (t_{use})	– Le montant des coûts d'investissement est déterminé par les planificateurs. – La durée d'utilisation correspond à la durée de vie technique de l'installation. – Les valeurs indicatives concernant la durée d'utilisation d'installations frigorifiques et de leurs éléments sont répertoriées dans SIA 480 et dans le tableau des durées de vie de l'Association suisse des locataires.

K.2.2 Charge d'intérêts

Pour le calcul de la charge d'intérêts annuelle, il est nécessaire de disposer du taux d'intérêt de calcul.

Taux d'intérêt de calcul (i)	– On utilise en tant que taux d'intérêt de calcul le taux hypothécaire de référence applicable aux contrats de bail. – Le taux d'intérêt de calcul actuel est répertorié sur le site Internet de l'Office fédéral du logement OFL. ⁷ – Taux d'intérêt de calcul juin 2023; 1,5%
----------------------------------	--

K.2.3 Coûts d'électricité froid

Les coûts d'électricité sont calculés comme suit:

$$EC_{an} = \frac{Q_{el} \times EP_{el}}{100} \quad (11)$$

EC_{an}	coûts d'électricité annuels de la machine thermofrigorifique, en CHF
Q_{el}	consommation d'électricité par an, en kWh
EP_{el}	prix de l'électricité, in c./kWh

Consommation d'électricité (Q_{el})	– Besoins en électricité pour le refroidissement du bâtiment et consommation supplémentaire occasionnée par une utilisation de la chaleur lorsqu'il est nécessaire d'augmenter la température de condensation (voir B.4).
--	---

Prix de l'électricité (EP_{el})	– Le prix de l'électricité est fixé conformément à la vue d'ensemble des prix de l'électricité en Suisse (https://www.prix-electricite.elcom.admin.ch/). – La localisation du bâtiment définit la localité déterminante. – Les tarifs de l'année en cours sont déterminants. – Concernant l'utilisation du bâtiment et la taille, il convient de sélectionner les catégories de tarif correspondantes. – Concernant le produit électrique, il convient de sélectionner le produit standard.
--	--

K.2.3.1 Évaluation de la consommation d'électricité en se basant sur le calcul de la charge de refroidissement

Les planificateurs déterminent le besoin de refroidissement au moyen du calcul de besoins de puissance (par ex. calcul selon SIA 380/2). De nombreux outils de calcul de la charge de refroidissement déterminent aussi directement les besoins en électricité.

⁷ <https://www.bwo.admin.ch/bwo/fr/home/mietrecht/referenzzinssatz/entwicklung-referenzzinssatz-und-durchschnittszinssatz.html>

K.2.3.2 Évaluation de la consommation d'électricité avec l'outil du froid

Si on ne connaît que la capacité de refroidissement requise, la consommation d'électricité peut être évaluée avec l'outil du froid [51]. L'outil du froid permet un calcul simplifié de la consommation d'électricité d'une installation frigorifique de climatisation avec la valeur SEER. Les consommations d'électricité des dispositifs auxiliaires (pompes, ventilateurs, etc.) sont alors également prises en compte.

K.2.3.3 Évaluation de la consommation d'électricité supplémentaire pour l'utilisation de la chaleur avec une augmentation de la température

Si la chaleur du condenseur avec augmentation de la température est utilisée avec la machine thermofrigorifique (voir B.4), il convient d'inclure dans le calcul les besoins en électricité supplémentaires.

K.2.4 Coûts de maintenance

Les coûts de maintenance annuels effectifs pour l'entretien, les services et la maintenance sont calculés par les planificateurs.

Les règles générales suivantes informent sur l'importance des coûts de maintenance attendus pour les installations frigorifiques avec des post-refroidisseurs secs et humides et avec différents fluides frigorigènes. Si des coûts de maintenance inférieurs à ceux déterminés au moyen de la règle générale sont indiqués, cela doit être justifié par le planificateur.

Le tableau 24 comporte une règle générale pour déterminer les coûts de maintenance d'installations frigorifiques avec différents fluides frigorigènes en combinaison avec des post-refroidisseurs secs (figure 38) et humides (figure 39).

Tableau 24 Coûts de maintenance annuels de différentes installations frigorifiques (MC_{an})

Coûts d'investissement	Post-refroidisseur PR	Fluide frigorigène	Règle générale coûts de maintenance
jusqu'à CHF 200 000	PR sec	A1 et A2L	$MC_{an} = 1\,000 + IC \times 0,03$
		A3 et B2L	$MC_{an} = 2\,000 + IC \times 0,035$
	PR humide	A1 et A2L	$MC_{an} = 2\,000 + IC \times 0,04$
		A3 et B2L	$MC_{an} = 3\,000 + IC \times 0,045$
200 000 CHF ou plus	PR sec	A1 et A2L	$MC_{an} = 7\,000 + (IC - 200\,000) \times 0,02$
		A3 et B2L	$MC_{an} = 8\,000 + (IC - 200\,000) \times 0,025$
	PR humide	A1 et A2L	$MC_{an} = 8\,000 + (IC - 200\,000) \times 0,03$
		A3 et B2L	$MC_{an} = 9\,000 + (IC - 200\,000) \times 0,035$

MC_{an} coûts de maintenance d'installations frigorifiques, en CHF par an

IC coûts d'investissement (y compris les coûts d'investissement pour le traitement de l'eau dans le cas de post-refroidisseurs humides), en CHF

A1 fluides frigorigènes de faible toxicité, non inflammable (par ex. HFC)

A2L fluides frigorigènes de faible toxicité, difficilement inflammable (par ex. fluide frigorigène HFO)

A3 fluides frigorigènes de faible toxicité, hautement inflammable (par ex. propane, propène)

B2L fluides frigorigènes de toxicité accrue, difficilement inflammable (par ex. ammoniac)

Figure 38 Valeur indicative des coûts de maintenance annuels pour les installations frigorifiques avec post-refroidisseurs secs

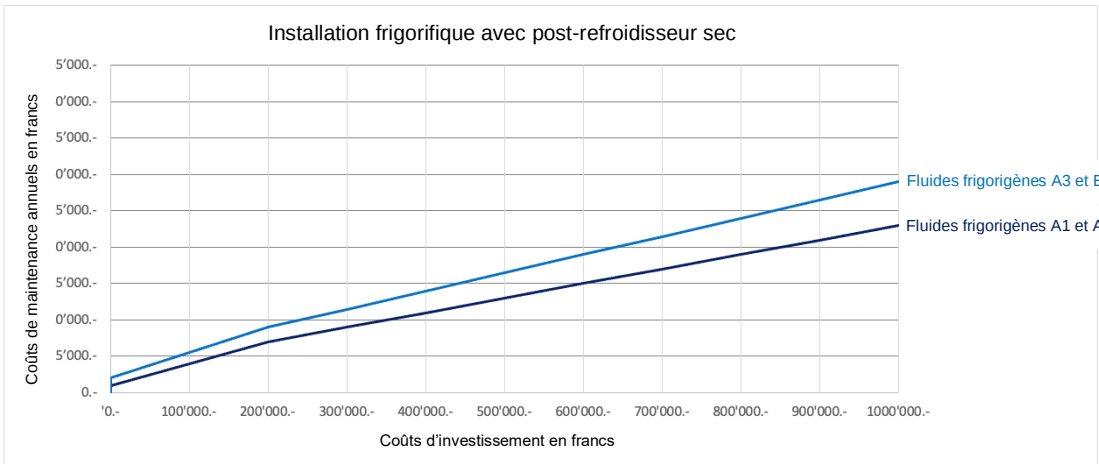
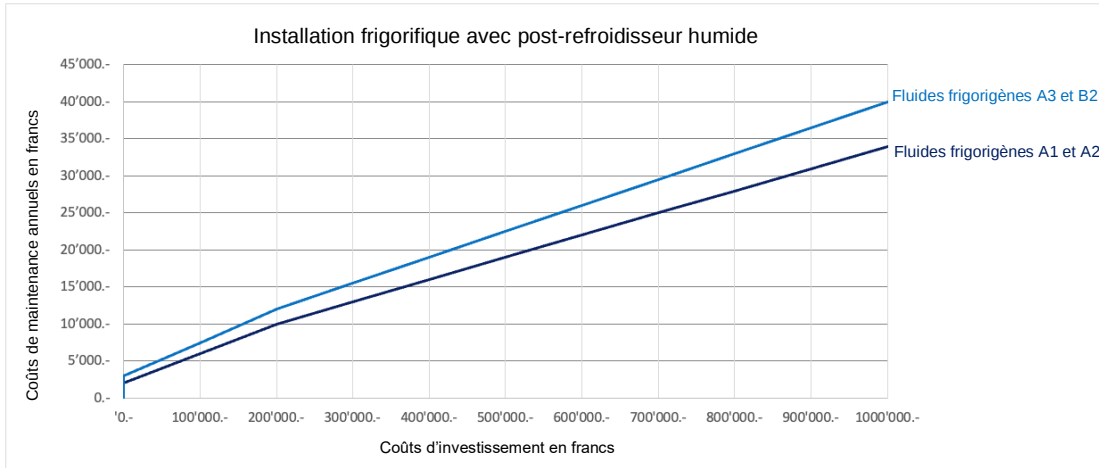


Figure 39 Valeur indicative des coûts de maintenance annuels pour les installations frigorifiques avec post-refroidisseurs humides



K.2.5 Rendement calorifique

La chaleur utilisable de la machine thermofrigorifique est déterminée au moyen d'un examen simultané du besoin de chaleur et de la chaleur disponible (par ex. valeurs horaires).

$$HR_{an} = \frac{Q_H \times EP_H}{100} \tag{12}$$

HR_{an} rendement calorifique annuel qui a été obtenu avec la machine thermofrigorifique, en CHF
 Q_H chaleur utilisée qui a été produite en un an avec la machine thermofrigorifique, en kWh
 EP_H prix de l'énergie pour la chaleur, en ct/kWh

Prix de l'énergie chaleur
(EP_H)

- Les planificateurs de l'installation de chauffage calculent le prix de la chaleur. Le calcul est effectué avec la méthode statique selon SIA 480 et il comprend les mêmes éléments que le modèle d'étude de la viabilité économique pour une installation frigorifique (coûts d'investissement, charge d'intérêts, coûts de l'énergie et coûts de maintenance, mais sans le rendement calorifique).
- Concernant le prix de l'énergie, il convient d'utiliser la valeur moyenne des trois dernières années des prix figurant dans l'Indice suisse des prix à la consommation de l'Office fédéral de la statistique.
- Les prix actuels de l'énergie concernant le mazout, le gaz et les pellets en bois figurent dans le document suivant: «IPC, prix moyens de l'énergie et des carburants, valeurs mensuelles (à partir de 1993) et moyennes annuelles (à partir de 1966)».

Lien:

- <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home.html> et recherche du nom du document
- ou
- <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/prix/indice-prix-consommation/resultats-detailles.assetdetail.24405712.html>
- Le prix actuel de l'électricité figure dans la vue d'ensemble Prix de l'électricité en Suisse (<https://www.prix-electricite.elcom.admin.ch/>) (voir K 2.3).

Annexe L (informative)

Publications

Cette annexe mentionne diverses publications qui traitent du même sujet que la présente norme.

L.1 Lois et ordonnances (www.admin.ch)

- | | | |
|------|------------------|--|
| [1] | RS 101 | <i>Constitution fédérale de la Confédération suisse</i> , du 18 avril 1999, état 2022 |
| [2] | RS 451 | <i>Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage (LPN)</i> , du 1 ^{er} juillet 1966, état 2022 |
| [3] | RS 451.1 | <i>Ordonnance sur la protection de la nature et du paysage (OPN)</i> , du 16 janvier 1991, état 2017 |
| [4] | RS 641.71 | <i>Loi fédérale sur la réduction des émissions de CO₂ (Loi sur le CO₂)</i> , du 23 décembre 2011, état 2022 |
| [5] | SR 700 | <i>Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT)</i> , du 22 juin 1979, état 2017 |
| [6] | RS 730.0 | <i>Loi sur l'énergie (LEne)</i> , du 30 septembre 2016, état 2023 |
| [7] | RS 730.02 | <i>Ordonnance sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique d'installations, de véhicules et d'appareils fabriqués en série (Ordonnance sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique, OEEE)</i> du 1 ^{er} novembre 2017, état 2023), annexe 2.11 |
| [8] | RS 814.20 | <i>Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux)</i> , du 24 janvier 1991, état 2023 |
| [9] | RS 814.201 | <i>Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)</i> , du 28 octobre 1998, état 2023 |
| [10] | RS 814.318.142.1 | <i>Ordonnance sur la protection de l'air (OPair)</i> , du 16 décembre 1985, état 2023 |
| [11] | RS 814.41 | <i>Ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB)</i> , du 15 décembre 1986, état 2021 |
| [12] | RS 814.81 | <i>Ordonnance sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORRChim)</i> , du 18 mai 2005, état 2022 |
| [13] | RS 814.012 | <i>Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (Ordonnance sur les accidents majeurs, OPAM)</i> , du 27 février 1991, état 2019 |
| [14] | RS 814.600 | <i>Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (Ordonnance sur les déchets, OLED)</i> du 4 décembre 2015, état 2023 |
| [15] | RS 814.812.38 | <i>Ordonnance du DETEC relative au permis pour l'utilisation de fluides frigorigènes (OPer-FI)</i> , du 28 juin 2005, état 2020 |
| [16] | RS 814.01 | <i>Loi fédérale sur la protection de l'environnement (Loi sur la protection de l'environnement, LPE)</i> , du 7 octobre 1983, état 2022 |
| [17] | RS 923.0 | <i>Loi fédérale sur la pêche (LFSP)</i> , du 21 juin 1991, état 2022 |
| [18] | RS 930.113 | <i>Ordonnance sur la sécurité des récipients à pression simples (Ordonnance sur les récipients à pression, OSRP)</i> , du 25 novembre 2015, état 2016 |
| [19] | RS 941.210 | <i>Ordonnance sur les instruments de mesure (OIMes)</i> du 15 février 2006, état 2016 |
| [20] | RS 941.231 | <i>Ordonnance du DFJP sur les instruments de mesure de l'énergie thermique</i> , du 19 mars 2006, état 2013 |

L.2 Aide à l'exécution

- | | |
|------|---|
| [21] | <i>Installations contenant des fluides frigorigènes : du concept à la mise sur le marché</i> , aide à l'exécution, OFEV, 2022 |
| [22] | <i>Installations et appareils contenant des fluides frigorigènes : exploitation et entretien</i> , aide à l'exécution, OFEV, 2022 |

- [23] *Hauteur des installations d'évacuation d'air*, aide à l'exécution, OFEV, www.bafu.admin.ch
- [24] *Plateforme digitale des installations contenant des fluides frigorigènes*, www.Cooling-reg.ch

L.3 Publications d'associations professionnelles

- [25] SICC 98-1 *Concept de mesure pour les énergies et les fluides*, 2002
- [26] SICC 2002-1 *Accumulateurs de chaleur à eau*, 2003
- [27] SICC 2003-3 *Post-refroidissement*, 2005
- [28] SICC BA101-01 *Prestations des ingénieurs spécialisés en gestion technique du bâtiment*, 2012
- [29] SICC BT102-01 *Qualité de l'eau dans les installations techniques du bâtiment*, 2012
- [30] SICC BT104-01 *Exploitation et maintenance d'installations techniques du bâtiment*, 2021
- [31] SICC HE301-01 *Équipements/Dispositifs techniques de sécurité pour installations de chauffage*, 2020
- [32] SICC RE600-01 *Surfaces de refroidissement des locaux – 1^{re} partie: Planification, construction et exploitation*, 2018
- [33] SICC prRE200-02 *Exploitation sûre sur le plan hygiénique d'installations de refroidissement par évaporation*
- [34] SUVA 66139.F *Exploiter en toute sécurité des installations frigorifiques et des installations de pompes à chaleur*, feuillet d'information, 2023
- [35] SUVA 2153.F *Protection contre les explosions – principes, exigences minimales, zones*, feuillet d'information, 2020
- [36] CFST 1825.F *Directive Liquides inflammables*, 2005
- [37] CFST 6507.F *Directive Ammoniac, entreposage et manipulation*, 1995
- [38] CFST 6516.F *Directive équipements sous pression*, 2017
- [39] CFST 6517.F *Directive gaz liquide*, 2017
- [40] DPI-AEAI 1-15fr *Norme de protection incendie*, Association des établissements cantonaux d'assurance incendie AEAI, 2015
- [41] DPI-AEAI 24-15 *Directive de protection incendie Installations thermiques*, Association des établissements cantonaux d'assurance incendie AEAI, 2015/2022
- [42] NIBT 2020 *Norme sur les installations à basse tension NIBT2020*, Electrosuisse, 2020

L.3.1 Ordonnances, méthodes d'essai et publications internationales

- [43] 2006/42/CE *Directive machines CE*
- [44] 2016/2281 *Règlement UE (EU) 2016/2281 relatif à la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie, en ce qui concerne les exigences d'écoconception applicables aux appareils de chauffage à air, aux appareils de refroidissement, aux refroidisseurs industriels haute température et aux ventilo-convecteurs*, 2016
- [45] ASTM D 1384 *Essai de corrosion de liquides de refroidissement pour moteurs réalisé dans un gobelet dans des conditions de laboratoire contrôlées*, 2005
- [46] VDI 4700 Blatt 1 *Termes relatifs à la technique de construction et des bâtiments*, VDI, 2015
- [47] VDMA 24186-3 *Programme de prestations pour l'entretien d'installations et d'équipements techniques dans les bâtiments – 3^e partie: Appareils et installations frigorifiques pouvant être utilisés pour refroidir et pour chauffer*, fiche de normalisation, VDMA 2019

L.4 Autres publications

- [48] Froid de confort aujourd'hui – Solutions intelligentes pour un climat intérieur agréable, ouvrage spécialisé, SICC/Die Planer, 2021
<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/9742>
- [49] Le contrôle du froid annuel – Optimisation des systèmes et installations frigorifiques en 5 phases, ASF/SuisseEnergie, (2015)
<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/6477>
- [50] Documents de base concernant la garantie de performance des installations frigorifiques, brochure, ASF/SuisseEnergie, 2015
<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/6482>
- [51] *Outil du froid*, estimation de la consommation d'électricité, de l'impact sur l'environnement et des coûts du cycle de vie d'installations frigorifiques et de climatisation, outil Excel, ASF/SuisseEnergie 2021
<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/6674>
- [52] *Guide des fluides frigorigènes pour spécialistes en chauffage, ventilation et climatisation*, brochure, SuisseEnergie 2020
<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/8710>
- [53] *Un agréable climat ambiant – 5 recommandations pour l'été*, feuillet d'information, ASF/SuisseEnergie 2015
<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/6476>
- [54] *Contrôle d'étanchéité*, feuillet d'information, ASF, 2019
https://www.asf-froid.ch/files/1617811984-191120_notice_controleetancheite-2788.pdf
- [55] *Isolation technique dans la technique du bâtiment*, feuillet d'information, Suissetec, 2023,
https://suissetec.ch/files/PDFs/Merkblaetter/Alle%20Branchen/Franz/2023_09_MB_Technische_Daem-mung_FR_editierbar.pdf
- [56] *VEWA – Modèle pour le décompte individuel des frais d'énergie et de l'eau*, brochure, SuisseEnergie, 2021
<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/8694>
- [57] *Classeur d'aides à l'exécution* cercle bruit, 6.20 Systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation en général
<https://www.cerclebruit.ch/?inc=enforcement&e=6/620.html>
- [58] *Détection de gaz dans les installations frigorifiques et dans les pompes à chaleur*, feuillet d'information, Association Suisse des Constructeurs de Systèmes de Sécurité (SES), 2023
<https://www.sicher-ses.ch/de/dokumente/ses-richtlinien/gaswarnanlagen/merkblatt-gwa-gasdetektion-in-kal-teanlagen-und.pdf/view?searchterm=gasdetektion>
- [59] *Légionelles et légionellose – Recommandations OFSP / OSAV*, OFSP, 2018
- [60] *Sécurité et hygiène en relation avec des circuits secondaires*, feuillet d'information, ASF 2021
https://www.svk-asf-atf.ch/wp-content/uploads/2021-09_fiche-technique_circuitssecondaires.pdf
- [61] *Aide à la planification électronique SN EN 378, 1^{re} et 3^e partie* ASF
<https://www.svk-asf-atf.ch/fr/connaissances-techniques/aide-a-la-planification-sn-en-378/?noredirect=fr-CH>
- [62] Questions relatives à SN EN 378-1 à 4, ASF 2022
https://www.svk-asf-atf.ch/wp-content/uploads/220826_FAQ_SNEN378_2017-5_2022_8.pdf
- [63] FAQ relatives à l'ORRChim et aux aides à l'exécutions correspondantes, ASF, 2022
https://www.svk-asf-atf.ch/wp-content/uploads/FAQ_ChemRRV_Vollzugshilfe.pdf
- [64] *Systèmes de détection de gaz V.01.01.22*, directive, Association Suisse des Constructeurs de Systèmes de Sécurité (SES), 2022

Annexe M (informative)

Index des termes

Tableau 25 Index alphabétique des termes définis au chapitre 1

Français	Allemand	Chiffre
Accumulateur de chaleur	Wärmespeicher	1.1.7.2
Accumulateur de froid	Kältespeicher	1.1.1.10
Aqua-cooling (refroidissement avec des eaux de surface)	Aqua-Cooling (Kühlung mit Oberflächenwasser)	1.1.2.5
Besoins de froid	Kältebedarf	1.1.8.1
Chaîne de sécurité	Sicherheitskette	1.1.1.16
Charge partielle	Teillast	1.1.5.2
Charge réduite	Schwachlast	1.1.5.3
Climat extérieur	Aussenklima	1.1.3.1
Contrôle de fonctionnement	Funktionskontrolle	1.1.6.4
Contrôle de l'installation	Installationskontrolle	1.1.6.5
Défaut de circulation	Fehlzirkulation	1.1.1.17
Distribution du froid	Kälteverteilung	1.1.1.7
Entretien	Wartung	1.1.6.11
Fluide frigorigène	Kältemittel	1.1.1.11
Free-cooling (refroidissement gratuit)	Free-Cooling (Freie Kühlung)	1.1.2.4
Générateur de chaleur	Wärmeerzeuger	1.1.7.1
Geo-cooling (refroidissement géothermique)	Geo-Cooling (Geothermische Kühlung)	1.1.2.6
Heures de disponibilité	Bereitschaftsstunden	1.1.5.5
Humidité de l'air intérieur	Raumlufffeuchte	1.1.4.5
Humidité relative de l'air	Relative Luftfeuchte	1.1.4.4
Inspection	Inspektion	1.1.6.12
Installation de climatisation	Klimaanlage	1.1.1.6
Installation de refroidissement	Klimakälteanlage	1.1.1.2
Installation frigorifique	Kälteanlage	1.1.1.1
Machine frigorifique	Kältemaschine	1.1.1.4
Machine thermofrigorifique	Kälte-Wärme-Maschine	1.1.1.3
Maintenance	Instandhaltung	1.1.6.10
Mise en exploitation	Inbetriebnahme	1.1.6.7
Mise en service	Inbetriebsetzung	1.1.6.6
Natural-cooling (refroidissement naturel)	Natural-Cooling (Natürliche Kühlung)	1.1.2.3
Nouvelle construction (Installation frigorifique)	Neubau (Kälteanlage)	1.1.6.1
Optimisation énergétique de l'exploitation (OéE)	Energetische Betriebsoptimierung eBO	1.1.6.13
Pleine charge	Vollast	1.1.5.1
Prescriptions en matière d'énergie	Energievorschriften	1.1.6.14
Puissance du refroidisseur	Kälteerzeugerleistung	1.1.8.5
Puissance spécifique de la pompe	Spezifische Pumpenleistung	1.1.8.6
Puissance thermique	Thermische Leistung	1.1.8.2
Puissance thermique de chauffage requise	Heizwärmeleistungsbedarf	1.1.8.3
Puissance thermique de refroidissement requise	Klimakälteleistungsbedarf	1.1.8.4
Récupérateur de chaleur	Wärmeübertrager	1.1.1.12
Refroidissement (climatisation)	Klimakälte	1.1.1.5
Refroidissement actif	Aktive Kühlung	1.1.2.1
Refroidissement passif	Passive Kühlung	1.1.2.2

Français	Allemand	Chiffre
Régulation de la température aller en fonction de la température extérieure	Aussentemperaturgeführte Vorlauftemperaturregelung	1.1.1.15
Régulation de local individuelle	Einzelraumregelung	1.1.1.14
Rénovation (Installation frigorifique)	Sanierung (Kälteanlage)	1.1.6.3
Séparateur hydraulique	Hydraulische Weiche	1.1.1.19
Système d'éléments de construction thermoactifs (ECTA)	Thermoaktives Bauteilsystem (TABS)	1.1.1.9
Système d'émission de froid	Kälteabgabesystem	1.1.1.8
Système de distribution de chaleur	Wärmeverteilsystem	1.1.7.3
Température aller	Vorlauftemperatur	1.1.7.4
Température ambiante	Raumtemperatur	1.1.4.6
Température de l'air	Lufttemperatur	1.1.4.2
Température de l'air extérieur	Aussenlufttemperatur	1.1.3.2
Température de l'air intérieur	Raumlufttemperatur	1.1.4.3
Température de retour	Rücklauftemperatur	1.1.7.5
Température du point de rosée	Taupunkttemperatur	1.1.4.7
Température extérieure	Aussentemperatur	1.1.3.3
Test intégraux	Integrale Tests	1.1.6.9
Tests intégrés	Integrierte Tests	1.1.6.8
Transformation (Installation frigorifique)	Umbau (Kälteanlage)	1.1.6.2
Utilisation de la chaleur (utilisation de la chaleur perdue)	Wärmenutzung (Abwärmennutzung)	1.1.1.13
Valeur de dimensionnement	Auslegungswert	1.1.5.4
Ventilation d'urgence mécanique	Mechanische Notlüftung	1.1.1.18
Zone de séjour	Aufenthaltsbereich	1.1.4.1

Organisations représentées dans la commission SIA 384 et le groupe de travail SIA 384/4

ASF	Association Suisse du Froid
EnFK	Conférence des services cantonaux de l'énergie
HSLU	Hochschule für Technik & Architektur, Luzern
ICS	ImmoClimat Suisse
OFEN	Office fédéral de l'énergie
ProKlima	
SICC	Société suisse des ingénieurs en technique du bâtiment, DIE PLANER
suissetec	Association suisse et liechtensteinoise de la technique du bâtiment
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Commission SIA 384, Installations de chauffage

		Représentant de
Président	Roman Hermann, dipl. HLK-Ing. HTL/REG A/SIA, Münchenstein	Bureau d'études
Membres	Simon Ackermann, dipl. HLK-Ing. FH, Egnach	suissetec
	Philipp Bruggmann, MSc Energy and Environment FHO/SIA, Zurich	Bureau d'études
	Stefan Gabathuler, Techniker TS Heizung/Lüftung, Bâle	École professionnelle
	Reto Gadola, dipl. HLK-Ing. FH/SIA, Horw	HSLU/ SICC
	Christoph Gmür, dipl. Masch.-Ing. ETH/SIA, Zurich	EnFK
	Remo Grüniger, dipl. Ing. FH/SIA, Berne	Bureau d'études
	Peter Heimann, dipl. Techniker HF, MAS FHO Energiesysteme, Bâle	Bureau d'études
	Michael Kriegers, dipl. Ing. FH HLK, Schwerzenbach	Bureau d'études
	Markus Krütli, MSc ZFH in Engineering, Winterthour	Bureau d'études
	Joachim Poppei, dipl. Physicien SIA, Aarau	SIA 384/6 & 7
	Steffen Porsche, dipl. Ing. Technique de chauffage, Gränichen	Entreprise
	Ralf Preiser, dipl. Technicien chauffage et ventilation, Spreitenbach	ICS
	Livio Stäger, BSc en technique du bâtiment HLKS, Herisau	Bureau d'études
	Frank Tillenkamp, Prof. Dr.-Ing./SIA, Winterthour	ZHAW

Groupe de travail SIA 384/4, Froid de climatisation

		Représentant de
Président	Michael Kriegers, dipl. Ing. FH HLK, Schwerzenbach	Bureau d'études
Membres	Simon Ackermann, dipl. HLK-Ing. FH, Egnach	suissetec
	Christoph Brechbühler, dipl. Technicien HF froid, Münsingen	ProKlima
	Christoph Gmür, dipl. Masch.-Ing. ETH/SIA, Zurich	EnFK
	Peter Heimann, dipl. Techniker HF, MAS FHO Energiesysteme, Bâle	Bureau d'études
	Roman Hermann, dipl. HLK-Ing. HTL/REG A/SIA, Münchenstein	SIA 384 études
	Markus Krütli, MSc ZFH in Engineering, Winterthour	Bureau d'études
	Rolf Löhrer, dipl. Ing. HTL/FH, Winterthour	ASF
	Simone Marchesi, dipl. Masch.-Ing. FH, Berne	OFEN
	Frank Tillenkamp, Prof. Dr.-Ing./SIA, Winterthour	ZHAW
Rédaction	Thomas Lang, Zurich	

Responsable Bureau SIA	Hager Al Laham, MSc ETH Integrated Building Systems/SIA, Zurich
---------------------------	---

Adoption et validité

La Commission centrale des normes de la SIA a adopté la présente norme SIA 384/4 le dd mmmm.

Elle est valable dès le 1^{er} mmmm 20yy.