



Manuel d'utilisation pour l'évaluation de l'efficacité énergétique des installations de production de froid indirectes et des pompes à chaleur réversibles au Luxembourg

Administration de l'environnement

Unité Surveillance et Évaluation de l'Environnement

1 Avenue du Rock'n'Roll, L-4361 Esch-sur-Alzette

airbruit@aev.etat.lu

40 56 56 1

Mentions légales

Le formulaire présenté ici s'appuie sur l'outil du projet de recherche « KaP – Kälteanlagen in der Praxis » (installations de froid en pratique) mené par le Centre de recherche sur l'énergie de Basse-Saxe, le Centre Steinbeis d'innovation en technologie énergétique et la société BROCHIER Consulting + Innovation GmbH.

Janvier 2017

Sommaire

1	Motivation et contraintes	2
1.1	Base juridique	3
1.1.1	Installations concernées.....	3
1.1.2	Intervalles de temps	4
1.1.3	Contenu de l'inspection	4
1.1.4	Personnel technique autorisé.....	5
1.2	Outil KaP	5
1.3	Formulaires disponibles.....	5
1.3.1	Installations directes.....	6
1.3.2	Installations indirectes	6
1.3.3	Installations thermiques.....	6
2	Explication du formulaire pour installations indirectes	7
2.1	Données générales	7
2.2	Distribution / apport de froid	10
2.3	Techniques innovantes.....	11
2.4	Machines de froid	13
2.5	Refroidisseurs	15
2.6	Contrôle de la consommation énergétique	17
2.7	Efficacité énergétique	18
2.8	Données relatives au bâtiment	18
2.9	Dimensionnement.....	20
2.10	Recommandations.....	21
2.11	Évaluation générale.....	22
3	Littérature.....	23

1 Motivation et contraintes

« Le Conseil européen a souligné en mars 2007 la nécessité d'accroître l'efficacité énergétique dans l'Union afin d'atteindre l'objectif visant à réduire de 20 % la consommation énergétique de l'Union d'ici à 2020, et a appelé à la mise en œuvre complète et rapide des priorités établies dans la communication de la Commission intitulée "Plan d'action pour l'efficacité énergétique : réaliser le potentiel". Ce plan d'action identifie les principales sources d'économies d'énergie potentielles rentables dans le secteur du bâtiment. » (source : [EPR10])

Dans le cadre de ce plan d'action, un point important est d'améliorer l'efficacité énergétique des installations techniques existantes :

« Un entretien et une inspection réguliers des systèmes de chauffage et de climatisation par du personnel qualifié permettent de faire en sorte que le réglage de ces appareils reste conforme aux spécifications prévues, ce qui garantit une performance optimale sur le plan de l'environnement, de la sécurité et de l'énergie. Il convient de procéder régulièrement à une évaluation indépendante de l'ensemble du système de chauffage et de climatisation au cours de son cycle de vie, en particulier avant son remplacement ou sa modernisation. Afin de réduire au minimum la charge administrative pesant sur les propriétaires et les locataires de bâtiments, les États membres devraient s'efforcer de combiner, dans la mesure du possible, les inspections et la certification. » (source : [EPR10])

Les formulaires détaillés dans le présent manuel sont la mise en œuvre au niveau national de cette directive européenne et ont été élaborés par l'Administration de l'environnement dans l'intention d'améliorer l'efficacité énergétique des installations de production de froid existants tout en limitant au minimum la charge administrative pour les propriétaires. Compte tenu de la difficulté de trouver une méthode uniformisée pour mesurer l'efficacité énergétique des installations de production de froid existants en raison des fortes influences thermodynamiques liées aux températures de fonctionnement et températures extérieures ainsi que du dimensionnement individualisé de chaque installation, les formulaires ont vocation à guider le personnel technique lors de l'évaluation individuelle des installations.

L'utilisation de ces formulaires n'a pas de caractère obligatoire et il est donc également permis de recourir à d'autres méthodes d'évaluation énergétique comme l'utilisation de l'outil KaP (cf. 1.2) ou à faire appel à une entreprise habilitée à mener une inspection individuelle.

1.1 Base juridique

Conformément au règlement grand-ducal du 26 décembre 2012 (cf. [SCL12]), les systèmes de climatisation fixes ayant une puissance nominale effective supérieure à 12 kW doivent être régulièrement contrôlés pour en vérifier le rendement. Ce règlement fait référence à la directive 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil du 19 mai 2010 (cf. [EPR10]) sur la performance énergétique des bâtiments et modifie le règlement grand-ducal du 2 septembre 2011 (cf. [SCL11]).

La législation luxembourgeoise (règlement du 22 juin 2016, art. 6) définit les installations concernées, les intervalles de temps entre inspections, leur contenu ainsi que le personnel technique autorisé à réaliser les inspections. Le règlement grand-ducal du 22 juin 2016 partie b (cf. [SCL16]) abroge le règlement du 26 décembre 2012.

1.1.1 Installations concernées

Les installations concernées sont les systèmes de climatisation et pompes à chaleur réversibles (c.-à-d. dotées d'une fonction refroidissement et chauffage) dont la puissance frigorifique utile **dépasse 12 kW**.

Selon la directive européenne, un système de climatisation est « une combinaison des composantes nécessaires pour assurer une forme de traitement de l'air intérieur par laquelle la température est contrôlée ou peut être abaissée ».

Par ailleurs, l'inspection régulière concerne uniquement les installations ayant une fonction de refroidissement actif de l'air ambiant, p. ex. au moyen d'une machine frigorifique mécanique ou thermique. Ainsi, ne sont pas concernées notamment :

- Les installations frigorifiques industrielles qui ne traitent pas l'air ambiant (production de froid industriel p. ex.)
- Les installations frigorifiques commerciales qui ne traitent pas l'air ambiant (entrepôts frigorifiques ou chambres de congélation p. ex.)
- Les installations passives (refroidissement adiabatique, roues dessiccantes p. ex.)

Tous les composants accessibles des systèmes de climatisation concernés sont à contrôler.

1.1.2 Intervalles de temps

L'inspection doit avoir lieu tous les **cinq ans**. Si un système électronique de surveillance et contrôle est présent, une inspection doit avoir lieu tous les **huit ans**.

Pour les installations mises en service avant le 22 juin 2016, la première inspection doit avoir lieu avant le **31 décembre 2017** au plus tard.

Pour les installations qui sont nouvellement mises en service ou les installations existantes qui subissent une transformation importante au moment de ou après l'entrée en vigueur du présent règlement, la première inspection doit avoir lieu au plus tard cinq ans après la mise en service ou la remise en service après transformation importante. Lorsqu'un système électronique de surveillance et de contrôle est en place, le délai pour la première inspection est porté à huit ans.

Un rapport doit être remis à l'exploitant au plus tard **15 jours** après réalisation de l'inspection.

Le résultat de l'évaluation générale ainsi que l'évaluation du dimensionnement de toutes les inspections réalisées doivent être transmis à l'Administration de l'environnement au plus tard le **31 mars** de chaque année. Le rapport doit être envoyé par voie électronique à l'Administration de l'environnement à l'adresse airbruit@aev.etat.lu. À cette fin, il convient d'utiliser le formulaire du test d'étanchéité accessible à l'adresse suivante :

www.environnement.public.lu/air_bruit/dossiers/f-gaz/controle_d_etancheite/Formulaire_Controles-etancheite.xlsx

1.1.3 Contenu de l'inspection

Dans le cadre de l'inspection régulière des installations concernées, les points suivants doivent être évalués :

- Le rendement de l'installation (**efficacité**)
- Le **dimensionnement** de l'installation par rapport aux exigences en matière de refroidissement du bâtiment.

Si l'installation n'a pas été modifiée, il n'est pas nécessaire de répéter l'évaluation du dimensionnement lors des inspections suivantes.

Évaluation des installations de froid indirectes

Outre ces deux évaluations, le rapport à produire doit inclure des **recommandations** et des **mesures d'amélioration** en vue de réduire le besoin en énergie des systèmes de climatisation.

Les formulaires mis à disposition par l'Administration de l'environnement ont pour but de guider le personnel technique dans l'évaluation de ces points.

D'autres méthodes d'évaluation peuvent être employées cependant (outil KaP p. ex., cf. 1.2)

1.1.4 Personnel technique autorisé

L'inspection doit être réalisée, soit par une personne physique indépendante certifiée par la chambre des métiers, soit par le personnel d'une personne morale certifié par la chambre des métiers.

1.2 Outil KaP

Le formulaire présenté ici s'appuie sur l'outil du projet de recherche « KaP – Kälteanlagen in der Praxis » (installations frigorifiques en pratique) mené par le Centre de recherche sur l'énergie de Basse-Saxe, le Centre Steinbeis d'innovation en technologie énergétique, du bâtiment et solaire et la société BROCHIER Consulting + Innovation GmbH. Ce projet a été subventionné par le Ministère fédéral allemand de l'économie et de l'énergie (BMWi) (subvention n° 03ET1066A).

L'outil KaP peut être utilisé en complément des formulaires décrits dans le présent manuel.

L'outil est gratuit et disponible sur le site Internet suivant :

<http://www.stz-egs.de/innovationsverbund-mnf-netzwerke/kap-werkzeuge/>

Pour les inspections régulières sur des installations complexes, il est conseillé d'utiliser l'outil KaP car il offre un niveau de détail supérieur à celui des formulaires.

1.3 Formulaires disponibles

Un formulaire est mis à disposition par l'Administration de l'environnement pour chacune des trois catégories d'installations suivantes.

1.3.1 Installations directes

Sont appelées installations directes les installations de froid mécaniques qui ne possèdent pas de circuits secondaires pour la distribution du froid et le refroidissement. Sur ces installations, le fluide frigorigène s'évapore dans le groupe frigorifique par rapport à l'air ambiant et est condensé dans l'aéroréfrigérant avec l'air extérieur.

Ces installations comprennent not. :

- Les climatiseurs split
- Les climatiseurs multi-split
- Les climatiseurs compacts

1.3.2 Installations indirectes

Sont appelées installations indirectes les installations de froid mécaniques qui possèdent des circuits secondaires pour la distribution du froid et/ou le refroidissement. En règle générale, le froid est distribué via un circuit d'eau froide sur ces installations.

1.3.3 Installations thermiques

Sont appelées installations thermiques les installations de froid dans lesquelles la chaleur est utilisée en tant qu'énergie motrice et non l'énergie électrique/mécanique. L'énergie thermique peut être fournie aussi bien par un brûleur que par de la chaleur de récupération ou encore de la chaleur solaire. Les installations thermiques comprennent :

- Les installations d'adsorption (zéolite-eau p. ex.)
- Les installations d'absorption (LiBr-eau p. ex.)

Les inspections détaillées ici ne concernent que les installations fermées. Les installations ouvertes (roues dessicantes p. ex.) ne sont pas couvertes.

2 Explication du formulaire pour installations indirectes

Les différents facteurs relatifs aux installations indirectes à prendre en compte sont détaillés dans ce qui suit.

Vu que les systèmes de climatisation sont très divers, une méthode d'évaluation unique est difficilement applicable. Pour cette raison, aucun système à points n'a été associé aux différents facteurs à prendre en compte. Ces derniers ont seulement vocation à guider le technicien lors de l'évaluation énergétique des installations de froid. En règle générale, pour chaque facteur les choix sont donnés dans l'ordre du plus favorable au moins favorable d'un point de vue de l'efficacité énergétique. Selon l'installation à inspecter et les caractéristiques du bâtiment, certains facteurs peuvent être plus ou moins pertinents.

Il appartient au technicien de se faire lui-même une idée générale de l'installation en se fiant à son expérience et aux caractéristiques rencontrées sur site afin d'en faire une évaluation générale (bien, moyen, mauvais).

Pour l'évaluation de l'efficacité énergétique des installations complexes, il est conseillé d'utiliser en complément l'outil KaP car il offre un niveau de détail supérieur à celui des formulaires.

2.1 Données générales

Les facteurs d'ordre général à prendre en compte sont les suivants :

- **Planification et construction de l'installation** : « Lorsque des installations existantes sont agrandies ou transformées, il n'est pas rare que les plans ne soient pas mis à jour ou que la régulation de l'installation ne soit pas adaptée. Le nombre de transformations augmente la complexité de ces installations et les rend plus difficilement gérable. »¹ De ce fait la meilleure option est une installation qui a été planifiée et exécutée en une seule fois. Une installation souvent agrandie comporte le risque de ne pas répondre d'une manière optimale aux besoins du bâtiment. Aussi, le dimensionnement de l'installation par rapport au bâtiment peut évoluer suite à des agrandissements.
- **Régulation de l'installation** : un grand nombre d'installations frigorifiques fonctionnent à des régimes constants pendant toute l'année. En

¹ Source : projet de recherche « KaP – Kälteanlagen in der Praxis »

Évaluation des installations de froid indirectes

utilisant des capteurs, il est possible d'optimiser l'installation en fonction des exigences (température, humidité de l'air p. ex.). Des économies considérables peuvent ainsi souvent être faites en conditions réelles d'utilisation. Dans un souci de réduction de la consommation énergétique, il est en plus intéressant que la production de froid soit automatiquement coupée si les locaux sont inutilisés pendant une durée prolongée. « Plus la régulation d'un système est centralisée, plus il est clair et simple de déterminer et d'optimiser les différents paramètres de régulation. Dans certains cas des régulations décentralisées peuvent s'influencer négativement entre elles et conduire à une hausse des besoins de chaleur, de froid et d'énergie électrique. Chez les systèmes de production de froid, un cas-type est celui de la fourniture d'eau froide en fonction des températures du ballon d'eau froide alors qu'il n'y a aucune demande de la part du consommateur. »²

- **Production de froid décentralisée supplémentaire (climatiseurs split) :** « Les productions de froid décentralisés augmentent significativement la complexité du système global. Une partie de la charge frigorifique est couverte de façon décentralisée, souvent sans que la consommation électrique associée ne soit mesurée. L'efficacité du complexe d'ensemble est de plus en plus difficile à cerner au fur et à mesure qu'augmente le nombre d'appareils. À partir d'une certaine puissance d'appareils décentralisés, une intégration à la production de froid centrale devrait être envisagée. D'autre part, une alimentation décentralisée de certains consommateurs, p. ex. les consommateurs permanents ou les petits consommateurs distants, peut s'avérer judicieuse pour accroître l'efficacité globale du système ».²
- **Clarté du système global :** « Un câblage et un marquage clairs ainsi qu'une bonne accessibilité permettent de trouver plus facilement l'origine d'un éventuel dysfonctionnement sur le réseau. »²
- **Documentation et fiches d'entretien :** une documentation complète de l'installation (fiches techniques, schéma de principe, notice d'utilisation, protocole de réception, fiches d'entretien p. ex.) permet d'apprécier au mieux l'installation et ses spécificités. « Une documentation bien tenue et exhaustive permet de détecter plus facilement un

² Source : projet de recherche « KaP – Kälteanlagen in der Praxis »

Évaluation des installations de froid indirectes

dysfonctionnement technique de l'installation et offre une base stable pour prendre de futures mesures d'optimisation et apporter des changements. ... Les contrats et plans d'entretien existants constituent l'un des éléments de documentation les plus importants. Ces documents contiennent des informations sur les fuites, les éventuels dysfonctionnements, le montage des pièces de rechange, les pertes / le remplissage du fluide frigorigène, etc. ».²

- **Intervalle d'entretien** : l'intervalle d'entretien doit être évalué de façon individuelle pour chaque installation. En règle générale, les installations (climatiseurs split notamment) qui fonctionnent correctement doivent faire l'objet d'un entretien annuel ; l'intervalle doit être plus court pour les installations plus complexes à usage intensif. Les intervalles supérieurs à deux ans indiquent un entretien insuffisant qui peut avoir pour conséquence des pertes d'efficacité.
- **Vulnérabilité du système** : « Une installation qui fonctionne bien économise des coûts d'exploitation et des efforts. La fiabilité d'une installation est plus ou moins importante selon l'utilisation qui est faite de l'objet. Les pannes peuvent avoir les causes les plus diverses et résulter notamment de paramètres totalement erronés (givrage permanent de l'évaporateur p. ex.). »³ Des incidents fréquents traduisent un défaut de fonctionnement et des pertes d'efficacité potentielles.
- **Personne responsable** : « Tout système d'installation technique devrait disposer d'un interlocuteur capable, d'une part, de s'occuper lui-même de son exploitation et, d'autre part, occupant une position hiérarchique pour discuter des changements à apporter au système et les exécuter ou les faire exécuter. Si cet interlocuteur possède les connaissances techniques adéquates sur l'installation, il est plus simple d'identifier des mesures d'optimisation et erreurs potentielles et plus facile d'obtenir des informations sur le système d'installation ».³ Est considéré comme responsable possédant les connaissances techniques requises le personnel formé capable de procéder à tous les réglages utiles (régulation, température p. ex.) sur l'installation ainsi que d'identifier et d'interpréter les erreurs. Est considéré comme responsable ne possédant pas les connaissances techniques requises le personnel chargé de l'installation seulement capable de procéder à des réglages

³ Source : projet de recherche « KaP – Kälteanlagen in der Praxis »

Évaluation des installations de froid indirectes

basiques (mise en marche et arrêt p. ex.). Si aucun responsable n'est désigné ou si la responsabilité n'est pas clairement définie, il convient d'inciter l'utilisateur ou le propriétaire à définir un responsable de l'installation. La responsabilité peut être confiée à une personne interne ou externe (via le contrat d'entretien p. ex.).

2.2 Distribution / apport de froid

Pour chaque appareil servant à apporter le froid, les facteurs à prendre en compte sont les suivants :

- **Pompes** : « La distribution est responsable pour une grande partie de la consommation d'énergie. Le remplacement des pompes est dans beaucoup de cas une mesure d'optimisation rentable. De plus il est possible que au fil du temps les pertes de charges ont changés dû à des modifications du réseau hydraulique et que les hauteurs de refoulement peuvent être changés»³
- **Isolation des conduites de distribution** : une mauvaise isolation des conduites de distribution a pour effet d'augmenter la température du fluide dans les conduites et ce faisant de diminuer l'efficacité énergétique de l'installation dans son ensemble. Conformément au règlement grand-ducal modifié du 31 août 2010 (cf. [SCL10]), les nouvelles conduites destinées à l'approvisionnement et à la distribution du froid, qui ne traversent pas la zone à desservir, doivent être isolées conformément aux exigences suivantes :
 - pour un diamètre inférieur ou égal à DN 40, avec 50% du diamètre ;
 - pour un diamètre compris entre DN 40 et DN 80, avec 25mm ;
 - pour un diamètre supérieur à DN 80, avec 32 mm ;

lorsque la différence de température entre la température du fluide et la température ambiante est supérieure à 6 K. Les épaisseurs minimales de couche isolante détaillées ici font référence à une conductivité thermique de 0,035 W/mK. Pour les matériaux dont la conductivité est différente, les épaisseurs peuvent être adaptées.

En cas d'isolation existante incomplète ou vétuste, il convient dans tous les cas d'attirer l'attention de l'utilisateur / du propriétaire de l'installation sur l'importance de rénover l'isolation (cf. 2.10).

Évaluation des installations de froid indirectes

- **Observations négatives** : les observations négatives suivantes révèlent de possibles problèmes sur l'installation en matière d'efficacité énergétique et de dimensionnement :
 - Les pompes sont nerveuses : des pompes nerveuses peuvent indiquer des paliers endommagés ou des composants abîmés, ce qui réduit l'efficacité de la distribution. Les composants concernés doivent dans tous les cas être examinés et, le cas échéant, entretenus ou remplacés.
 - Les composants de l'installation sont rouillés / sales : la corrosion et la saleté peuvent indiquer des fuites ou un mauvais entretien. Les composants concernés doivent dans tous les cas être minutieusement examinés et, le cas échéant, entretenus ou remplacés.
 - Il y a des plaintes au sujet du confort thermique : ces plaintes sont parfois dues au fait qu'un composant est encrassé (formation de moisissures lors de la séparation des condensats p. ex.), mal réglé ou paramétré. Les composants concernés doivent dans tous les cas être examinés et, le cas échéant, entretenus, nettoyés ou paramétrés.

2.3 Techniques innovantes

Les techniques innovantes génèrent des gains d'efficacité considérables sur l'année et contribuent à abaisser l'énergie requise pour la climatisation. Les différentes techniques existantes sont décrites brièvement dans ce qui suit.

- **Utilisation de la chaleur dissipée pour le chauffage** : la chaleur dissipée produite par les aérorefroidisseurs peut dans certains cas être récupérée et servir à des fins de chauffage. Cette technique permet de diminuer les besoins en énergie du chauffage. Il est généralement possible d'utiliser la chaleur dégagée par le refroidissement dans les systèmes qui possèdent un condenseur refroidi par liquide. Cette technique est particulièrement intéressante pour les installations qui doivent fournir du froid même en hiver (climatisation de locaux de serveurs p. ex.).
- **Régulation des ventilateurs des aérorefroidisseurs** : les ventilateurs régulés (p. ex. à l'aide de moteurs EC) des aérorefroidisseurs diminuent la consommation électrique puisque les moteurs tournent uniquement si nécessaire.

Évaluation des installations de froid indirectes

- **Refroidissement naturel avec l'air extérieur** : si la température extérieure est suffisamment basse, le retour de l'eau glacée peut aussi être refroidi avec l'air extérieur. Ce refroidissement naturel (aussi appelé « free cooling ») réduit l'utilisation de la machine frigorifique et ainsi les besoins en énergie. « La production de froid par refroidissement naturel est souvent nettement plus efficace que la réfrigération par compression mécanique ou thermique. Le rendement dépasse souvent la valeur de 20 et il y a donc tout intérêt à en profiter au maximum dès que cela est possible. Pour profiter du refroidissement naturel, il est nécessaire, surtout en hiver, que la température des consommateurs soit élevée et puisse être atteinte par la température ambiante. Le refroidissement naturel est particulièrement intéressant quand la charge intérieure est élevée et constante, comme p. ex. dans le cas des locaux de serveurs (le niveau de température des climatiseurs oscille souvent entre 12 et 16 °C et la température des locaux doit être maintenue à un niveau constant en hiver également). Si des consommateurs permanents sont présents dans l'immeuble, une modification des températures de départ doit être envisagée pour profiter du refroidissement naturel. »⁴
- **Utilisation d'un réservoir d'eau froide** : un réservoir d'eau froide équilibre les pointes thermiques des machines frigorifiques sur l'année et ce faisant permet généralement un fonctionnement plus efficace. Utiliser un réservoir permet d'assurer un fonctionnement en continu et à pleine puissance des machines frigorifiques.
- **Utilisation de pieux, sondes et capteurs énergétiques** : les pieux, sondes et capteurs énergétiques ont un effet similaire à celui du refroidissement naturel (voir plus haut). Si la température du sol est inférieure à la température de l'air extérieur, la température de départ peut être refroidie dans le sol et la consommation énergétique des machines frigorifiques peut être réduite. Si les pieux, sondes et capteurs énergétiques sont utilisés côté condenseur, la température de condensation de l'installation peut être abaissée et ainsi son rendement amélioré. Autrement, les pieux, sondes et capteurs énergétiques peuvent être utilisés comme puits thermique pour le condenseur, sachant qu'en général la température du sol est inférieure à celle de l'air extérieur.

⁴ Source : projet de recherche « KaP – Kälteanlagen in der Praxis »

2.4 Machines de froid

Le formulaire s'applique aux installations comptant jusqu'à cinq machines frigorifiques, lesquelles peuvent être affectées aux champs prévus à cet effet. Il peut s'agir p. ex. du numéro de série ou d'une désignation issue du schéma d'installation. Il convient de veiller à ce que la désignation/affectation ne soit pas ambiguë.

Pour les facteurs suivants, cinq champs sont prévus à chaque fois pour les unités préalablement affectées. Un exemple d'affectation pour l'unité 1 est donné à Fig. 2-1: Exemple d'affectation des facteurs.

Machine(s) de froid
Dénomination de la machine (p.ex numéro de série)

1						
2						
3						
4						
5						
Âge		1	2	3	4	5
0-5 Années						
6-15 Années						
plus que 15 ans						



Fig. 2-2: Exemple d'affectation des facteurs

Pour chaque machine de froid, les facteurs à prendre en compte sont les suivants :

- Âge** : « Même lorsque les intervalles de maintenance et d'entretien sont respectés, des signes de vieillissement tels que l'usure et l'abrasion au sein de l'installation vont mener à un fonctionnement non optimal. Dans certaines circonstances, investir dans de nouvelles installations frigorifiques peut être rentable. »³ D'autant plus que les installations récentes affichent souvent de meilleures performances d'efficacité que les anciennes. Compte tenu de l'augmentation des coûts d'énergie, la modernisation de machines frigorifiques peut vite être rentabilisée. Attirez l'attention de l'utilisateur / du propriétaire de l'installation sur cette possibilité si le groupe frigorifique est âgé (p. ex. dans le champ réservé aux explications et mesures individuelles, cf. 2.10)
- Nombre de départs par 1000 heures de fonctionnement** : « Un bon indicateur de la fréquence des cycles d'une installation est le nombre de départs par heures de fonctionnement, qui fait apparaître

Évaluation des installations de froid indirectes

directement l'intervalle de marche/arrêt. Des cycles trop fréquents ont un effet négatif sur la durée de vie de la machine frigorifique. Les grosses installations frigorifiques peuvent produire des pointes de consommation de courant significatives ; plus celles-ci sont fréquentes, plus le réseau électrique est sollicité. Ce facteur doit donc être pris en compte, en particulier pour les installations de grande taille ou les installations qui représentent une part significative de la consommation totale d'énergie de l'immeuble.»⁵ De fait, un nombre de départs < 50 par 1000 heures de fonctionnement est considéré comme bien, entre 50 et 500 comme moyen et > 500 comme mauvais.

- **Observations négatives** : les observations négatives révèlent de possibles problèmes sur l'installation en matière d'efficacité énergétique et de dimensionnement :
 - Le compresseur est nerveux : un compresseur nerveux peut indiquer des paliers endommagés ou des composants abîmés, ce qui réduit l'efficacité de l'installation. Le composant doit dans tous les cas être examiné et, le cas échéant, entretenu ou remplacé.
 - Les composants de l'installation sont rouillés / sales : la corrosion et la saleté peuvent indiquer des fuites ou un mauvais entretien. Les composants concernés doivent dans tous les cas être minutieusement examinés et, le cas échéant, entretenus ou remplacés.
- **Observations positives** : les observations positives concernent les technologies qui génèrent des gains d'efficacité considérables sur l'année.
 - Détendeur électronique: un détendeur électronique permet de réguler le débit massique du fluide frigorigène afin de maintenir la surchauffe constante sur toute la plage de la régulation de puissance du compresseur et ainsi accroître l'efficacité de l'installation en conditions réelles d'utilisation.
 - Régulation de la température de départ de l'eau glacée: « Outre le fait d'utiliser des composants efficaces, l'interaction entre les différents composants joue également un rôle important. L'ajustement de la production de froid au besoin de

⁵ Source : projet de recherche « KaP – Kälteanlagen in der Praxis »

Évaluation des installations de froid indirectes

froid est un paramètre élémentaire du dimensionnement des installations frigorifiques et peut, s'il est bien programmé, faire économiser des quantités significatives d'énergie. En pratique, les installations de froid sont souvent préréglées sur une température fixe de départ de l'eau glacée afin d'apporter une quantité d'énergie donnée en fonction du débit. La température de départ peut être réglée en fonction, p. ex., de la température extérieure ou du consommateur ayant les besoins les plus élevés. Dans ce cas, la température du condenseur et ce faisant le rapport de pression du circuit frigorifique sont également réglés et ainsi, seul l'apport énergétique nécessaire pour couvrir le besoin de froid est fourni. »⁶

- Compresseur réglé, p. ex. variateur de vitesse : afin d'éviter des cycles marche/arrêt fréquents pour l'installation de froid, la puissance est adaptée aux conditions de base. Ainsi, il est possible d'augmenter l'efficacité de l'installation en conditions d'utilisation réelles. La méthode la plus courante consiste à réguler la puissance du compresseur à l'aide d'un variateur de vitesse.
- Température de l'eau glacée de service > 8 °C (valeur de consigne départ) : les installations de froid indirectes fonctionnent souvent avec une température d'eau glacée (départ) de 6 °C. En élevant cette température, il est possible d'augmenter sensiblement le rendement de l'installation. La plupart du temps, il est facile d'élever la température de l'eau froide et cela n'a pas ou peu d'influence sur l'utilisation de l'installation.
- **Système de détection des fuites avec dispositif d'alerte** : « La présence d'un système de détection des fuites assure l'étanchéité permanente de l'installation. Ce qui renforce énormément la sécurité et l'écologie de l'installation ».⁶

2.5 Refroidisseurs

Le formulaire s'applique aux installations comptant jusqu'à cinq refroidisseurs, lesquels peuvent être affectés aux champs prévus à cet effet. Il peut s'agir p. ex. du numéro de série ou d'une désignation issue du schéma d'installation. Il

⁶ Source : projet de recherche « KaP – Kälteanlagen in der Praxis »

Évaluation des installations de froid indirectes

convient de veiller à ce que la désignation/affectation ne soit pas ambiguë. L'affectation s'effectue de la même manière que pour les machines de froid (cf. 2.4 et Fig. 2-2)

Pour chaque refroidisseur, les facteurs à prendre en compte sont les suivants :

- **Âge** : « Même lorsque les intervalles de maintenance et d'entretien sont respectés, des signes de vieillissement tels que l'usure et l'abrasion au sein de l'installation vont mener à un fonctionnement non optimal. Dans certaines circonstances, investir dans de nouvelles installations peut être rentable. »³ D'autant plus que les installations récentes affichent souvent de meilleures performances d'efficacité que les anciennes. Compte tenu de l'augmentation des coûts d'énergie, la modernisation de refroidisseur peut vite être rentabilisée. Attirez l'attention de l'utilisateur / du propriétaire de l'installation sur cette possibilité si le refroidisseur est âgé (p. ex. dans le champ réservé aux explications et mesures individuelles, cf. 2.10)
- **Type de refroidisseur** : les refroidisseurs humides ou hybrides autorisent en général des températures de condensation inférieures et améliorent par conséquent le rendement de l'installation. Il revient au personnel technique exécutant de juger si un certain type de refroidisseur est le meilleur choix pour l'installation donnée ou le bâtiment.
- **Observations négatives** : les observations négatives révèlent de possibles problèmes sur l'installation en matière d'efficacité énergétique et de dimensionnement :
 - Échangeurs thermiques encrassés : l'encrassement des refroidisseurs peut faire augmenter la température de condensation ou les pertes de pression, diminuant ainsi l'efficacité du composant et de l'installation. Le composant doit dans tous les cas être examiné et nettoyé.
 - Humidification insuffisante de la tour humide : l'humidification insuffisante des refroidisseurs hybrides (due à des buses encrassées p. ex.) nuit au transfert de chaleur et fait monter la température de condensation. Ce qui fait baisser l'efficacité du système d'ensemble. Le composant doit dans tous les cas être examiné et entretenu.
 - Les ventilateurs sont bruyant : un ventilateur nerveux peut indiquer des paliers endommagés ou des composants abîmés, ce qui réduit l'efficacité de la condensation et donc de

Évaluation des installations de froid indirectes

l'installation. Le composant doit dans tous les cas être examiné et, le cas échéant, entretenu ou remplacé.

- Les composants de l'installation sont rouillés / sales : la corrosion et la saleté peuvent indiquer des fuites ou un mauvais entretien. Les composants concernés doivent dans tous les cas être minutieusement examinés et, le cas échéant, entretenus ou remplacés.
- Emplacement inadapté : l'emplacement inadapté du condenseur fait monter la température de condensation et amoindrit l'efficacité de l'installation. Citons p. ex. parmi les endroits inadaptés : près d'une source de rejet thermique ou aspiration d'air entravée.

2.6 Contrôle de la consommation énergétique

« Un système de gestion d'énergie (certifié DIN ISO 50001 p. ex.) fournit des renseignements sur les principaux consommateurs de l'immeuble et permet d'évaluer les différents flux énergétiques, depuis la source d'énergie (réseau de gaz, électricité, bois, etc.) jusqu'au consommateur (production, climatisation, etc.) en passant par la production (machines frigorifiques ou refroidisseurs en l'occurrence), et de visualiser les pertes ainsi que l'efficacité du système.

Avec un concept de mesure adéquat, il est possible d'établir et analyser différents bilans, pertes, etc. via le système de commande existant. Pour ce faire néanmoins, un nombre suffisant de sondes de température et compteurs de chaleur est nécessaire.

Si une gestion d'énergie n'est pas possible du tout via le système de commande existant, une extension du concept de mesure doit être examinée et mise en œuvre. »⁷

Les facteurs à prendre en compte pour la gestion d'énergie / le contrôle de la consommation énergétique concernent la collecte et l'exploitation des données :

- **Collecte des données** : une résolution temporelle élevée (valeurs horaires p. ex.) des données collectées (consommation d'énergie, besoins des consommateurs p. ex.) permet d'analyser au mieux les flux

⁷ Source : projet de recherche « KaP – Kälteanlagen in der Praxis »

Évaluation des installations de froid indirectes

énergétiques et ainsi d'identifier des erreurs ou points faibles. Une telle résolution donne lieu en général à une multitude d'approches d'amélioration et des économies d'énergie importantes. Avec une résolution plus faible (valeurs annuelles ou mensuelles p. ex.), il est possible de faire des comparaisons avec d'autres immeubles ou ratios et de mettre en évidence au moins un potentiel d'amélioration.

- **Exploitation des données** : une exploitation optimale des données collectées est automatique et donne lieu à des rapports fréquents. Si un système de collecte de données existe, mais les données ne sont pas exploitées, il convient de formuler une recommandation.

2.7 Efficacité énergétique

Le classement de l'efficacité énergétique dans le présent formulaire repose sur les certifications Eurovent. Le ratio EER (« Energy Efficient Ratio », auparavant appelé COP – « Coefficient of Performance » ou indice de performance dans les conditions de fonctionnement fixées par Eurovent) et/ou le ratio ESEER (« European Seasonal Efficiency Ratio », auparavant appelé indice de rendement annualisé) peut être indiqué.

Dans la mesure où les installations indirectes peuvent être refroidies aussi bien par air que par eau, deux choix sont donnés pour chaque ratio. Les valeurs de la première colonne concernent les installations refroidies par eau, celles de la deuxième colonne les installations refroidies par air.

Sur les installations certifiées, ces ratios doivent être déterminés soit à l'aide des indications fournies par le fabricant, soit sur le site Internet d'Eurovent (www.eurovent.eu). Si les ratios ne peuvent pas être déterminés, il convient de cocher la case prévue pour ce cas.

2.8 Données relatives au bâtiment

Les installations techniques du bâtiment, l'architecture et l'utilisateur ont une influence considérable sur l'énergie requise pour la climatisation. Cette section vise à identifier des mesures d'amélioration pour faire baisser le besoin de froid. Comme, cependant, visiter le bâtiment n'est pas toujours possible, les données doivent être considérées comme facultatives pour l'évaluation finale. Néanmoins, il est important d'attirer l'attention de l'utilisateur ou du propriétaire de l'installation sur le potentiel d'amélioration existant en termes d'efficacité énergétique.

Évaluation des installations de froid indirectes

- **Protection solaire** : un élément essentiel de la charge frigorifique des bâtiments est l'apport de chaleur par rayonnement solaire via les éléments transparents. Celui-ci peut être considérablement réduit au moyen d'une protection solaire. Les dispositifs de protection solaire extérieurs (lames extérieures, auvents, volets roulants p. ex.) et les vitrage anti-solaire ou film pare-soleil sont considérés comme les meilleures options. Les systèmes intérieurs (stores vénitiens, rideaux à bandes p. ex.) sont uniquement classés comme moyen, puisque ce que leur fonction primaire est avant de protéger les utilisateurs du rayonnement direct mais une grande partie de la chaleur pénètre toujours dans le bâtiment. Sans protection solaire, les bâtiments comportant une surface vitrée importante reçoivent un apport de chaleur solaire élevé, d'où un besoin de froid supérieur et une augmentation de la consommation d'énergie requise par la climatisation.
- **Éclairage** : outre les apports de chaleur extérieurs, les sources de chaleur intérieures influencent elles aussi le besoin de froid. À ce titre, l'éclairage présente généralement un potentiel d'économie d'énergie simple à mettre en œuvre. Les éclairages DEL économes en énergie ont de hauts rendements, si bien qu'à intensité lumineuse égale moins de chaleur est dégagée. Les lampes fluorescentes et fluocompactes (tubes néon p. ex.) ont des rendements légèrement moindres que les éclairages à DEL modernes, ce qui a pour conséquence des besoins en froid légèrement supérieurs.
- **Techniques innovantes** : outre le fait de diminuer l'apport de chaleur ou les sources de chaleur internes, certaines réalisations techniques permettent de réduire les besoins en énergies fossiles pour le refroidissement. Les trois techniques présentées ici doivent être considérées comme positives pour l'évaluation finale :
 - Refroidissement nocturne par aération automatique des fenêtres : avec cette technique, les pièces peuvent être refroidies la nuit en faisant entrer de l'air frais froid. Le but étant d'emmagasiner le froid dans les éléments à haute inertie thermique (matériaux lourds) pour qu'en journée ce éléments peuvent absorber de la chaleur et ainsi réduire le besoin de froid.
 - Refroidissement adiabatique par système d'aération : en injectant de l'eau dans l'air, l'eau s'évapore la température de

Évaluation des installations de froid indirectes

l'air diminue. Le refroidissement adiabatique peut être direct ou indirect.

- Installation photovoltaïque : le courant produit par une installation photovoltaïque contribue indirectement à réduire les émissions de CO₂ en augmentant la part de courant fourni par énergies renouvelables.

2.9 Dimensionnement

L'évaluation du dimensionnement s'effectue en comparant les puissances des producteurs de froid (puissance installée) aux puissances des consommateurs de froid.

Si l'installation n'a pas été modifiée depuis l'inspection précédente, il n'est pas nécessaire de répéter l'évaluation du dimensionnement (cf. également 1.1.3). S'il s'agit d'une première inspection, une évaluation du dimensionnement doit avoir lieu.

Cette évaluation se base généralement sur la documentation technique : schéma de câblage du système, documents de dimensionnement du bureau technique, etc. S'ils ne sont pas disponibles, l'évaluation doit se faire par estimation. Cochez dans la case **Origine des données** la base sur laquelle l'évaluation du dimensionnement a été menée. Si celle-ci a lieu par estimation, recommandez au propriétaire/exploitant de compléter les documents de l'installation (cf. 2.10).

La puissance de froid (a) installée correspond, sur les installations indirectes, à la somme de la puissance thermique de l'ensemble des machines frigorifiques du circuit concerné.

La puissance redondante (b) correspond, sur les installations indirectes, à la somme de la puissance thermique de l'ensemble des machines frigorifiques qui ne sont pas utilisées en temps normal dans le circuit concerné. En règle générale, ces installations se contentent de prendre le relais en cas de panne d'autres installations ou de travaux d'entretien. Si la régulation du système global prévoit que toutes les machines frigorifiques fonctionnent alternativement ou simultanément à charge partielle (p.ex : machine turbocor), alors la puissance redondante correspond à la puissance thermique qui ne serait pas nécessaire pour le fonctionnement régulier de l'installation dans le cas du dimensionnement.

Évaluation des installations de froid indirectes

La puissance de l'ensemble des consommateurs (c) correspond, sur les installations indirectes, à la somme de la puissance thermique de l'ensemble des appareils servant à fournir du froid (convecteurs, cassettes p. ex.) du circuit concerné.

La puissance de réserve (d) correspond, sur les installations indirectes, à la somme de la puissance thermique de l'ensemble des raccordements de réserve prévus p. ex. pour une extension future du bâtiment.

L'indice d'évaluation (x), le rapport entre la somme des consommateurs et la somme des producteurs nécessaires au minimum, est déterminé à partir des trois grandeurs précédentes selon la formule :

$$x = \frac{c + d}{a - b}$$

et consigné en pour cent dans le champ correspondant. Les trois classements indiqués de la valeur x permettent une évaluation individuelle du dimensionnement.

Les valeurs supérieures à 100 % révèlent un sous-dimensionnement de l'installation frigorifique par rapport à l'apport de froid, tandis que les valeurs inférieures à 100 % révèlent un sur-dimensionnement.

Indiquez en outre si vous avez classé les puissances de redondance et de réserve de l'installation comme adaptées ou non.

2.10 Recommandations

L'évaluation des différents composants de l'installation de froid et du bâtiment a comme vocation de guider le personnel exécutant lors de l'appréciation de la performance énergétique du système et de fournir des recommandations au propriétaire/exploitant. Une liste des mesures courantes a été élaborée pour les trois types d'installations. Celles-ci sont généralement liées aux paramètres analysés et doivent être cochées uniquement en cas d'observation négative. Cependant, comme il est difficile de suivre une méthode uniforme pour les systèmes de climatisation, des recommandations individuelles et des mesures d'amélioration peuvent également être saisies par le personnel exécutant dans les formulaires. Un champ de texte permet ainsi d'ajouter des explications détaillées sur les différentes mesures. Le personnel exécutant peut expliquer au propriétaire/exploitant de l'installation p. ex. les mesures génériques pour l'installation donnée ou expliquer les effets positifs de leur mise en œuvre.

2.11 Évaluation générale

L'analyse des différents paramètres de l'installation de froid et du bâtiment a comme vocation de guider le technicien dans l'évaluation énergétique et du dimensionnement de l'installation. La décision a été prise de ne pas utiliser de système à points pour l'évaluation des installations de froid. Une généralisation des critères d'évaluation s'avère en effet très compliquée puisque ces derniers sont souvent différents en fonction du type d'installation et conditions d'utilisation dans le bâtiment. Il incombe au technicien de donner une évaluation énergétique finale (bien, moyen ou mauvais) de l'installation en s'aidant des facteurs à prendre en compte et de ses propres connaissances techniques.

Pour les installations complexes, il est conseillé d'utiliser l'outil KaP qui offre un niveau de détail supérieur à celui des formulaires et permet en plus de faire une évaluation énergétique standardisée.

3 Littérature

- [EPR10] Parlement européen et Conseil
Directive 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil du
19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments.
Union européenne
Strasbourg, 2010/31/UE, 2010
- [EPR14] Parlement européen et Conseil
Directive 2014/517/UE du Parlement européen et du Conseil du
16 avril 2014 sur les gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le
règlement (CE) n° 842/2006 texte important pour l'EEE.
Union européenne
Strasbourg, 2014/517/UE, 2014
- [SCL10] GOUVERNEMENT LUXEMBOURGEOIS
Règlement grand-ducal du 31 août 2010 concernant la
performance énergétique des bâtiments fonctionnels et modifiant
1. le règlement grand-ducal modifié du 30 novembre 2007
concernant la performance énergétique des bâtiments
d'habitation.
Service Central de Législation
Luxembourg, A-N°173, 2010
- [SCL11] GOUVERNEMENT LUXEMBOURGEOIS
Règlement grand-ducal du 2 septembre 2011 relatif a) aux
contrôles d'équipements de réfrigération, de climatisation et de
pompes à chaleur fonctionnant aux fluides réfrigérants du type
HFC, HCFC ou CFC b) à l'inspection des systèmes de climatisation.
Service Central de Législation
Luxembourg, A-N°197, 2011
- [SCL12] GOUVERNEMENT LUXEMBOURGEOIS
Règlement grand-ducal du 26 décembre 2012 modifiant le
règlement grand-ducal du 2 septembre 2011.
Service Central de Législation
Luxembourg, A-N°282, 2012
- [SCL16] GOUVERNEMENT LUXEMBOURGEOIS
Règlement grand-ducal du 22 juin 2016 relatif ... b) à l'inspection
des systèmes de climatisation.
Service Central de Législation
Luxembourg, A-N°114, 2016