

Sous-refroidissement: la clé de l'efficacité et de la sécurité de fonctionnement

Des ingénieurs en mécanique et des planificateurs astucieux sous-refroidissent de manière ciblée le fluide frigorigène. Ils augmentent ainsi la sécurité de fonctionnement et améliorent l'efficacité énergétique des installations frigorifiques jusqu'à 25 pour cent. Une étude de la ZHAW décrypte les différents types de sous-refroidissement. Échangeur liquide vapeur, économiseur ou sous-refroidisseur externe: ils augmentent tous les trois l'efficacité s'ils sont correctement conçus et intégrés.

De manière analogue aux nombreux athlètes de compétition qui cherchent à améliorer leurs performances physiques grâce aux bains glacés vivifiants, la technologie frigorifique utilise activement le sous-refroidissement. Des ingénieurs en mécanique et des planificateurs astucieux sous-refroidissent de manière ciblée le fluide frigorigène et augmentent ainsi la sécurité de fonctionnement et l'efficacité énergétique des installations frigorifiques.

SuisseEnergie souhaitait connaître exactement les bénéfices apportés par le sous-refroidissement, quels circuits sont adaptés à quel type de situation, ainsi que les gains potentiels d'efficacité pour une installation frigorifique.

L'institut des systèmes énergétiques et de l'ingénierie des fluides de la ZHAW a examiné la question pour SuisseEnergie par le biais d'une étude préliminaire. Les principaux résultats de cette étude sont résumés dans cette fiche d'informations, de manière concise et compréhensible. Les expertes et les experts du froid souhaitant en savoir plus peuvent retrouver tous les calculs et les résultats dans l'étude préliminaire (cf. page 14).



Qu'est-ce que le sous-refroidissement?

Sous-refroidissement

Dans le condenseur, le fluide caloporteur froid (air ou eau) retire de l'énergie au fluide frigorigène chaud et gazeux (2 → 3'). Ce faisant, le fluide frigorigène refroidit et se condense: il passe de l'état gazeux à l'état liquide. Si le fluide continue à être refroidi au niveau de la courbe d'ébullition, après la condensation complète, on appelle ce phénomène le sous-refroidissement (3' → 3).

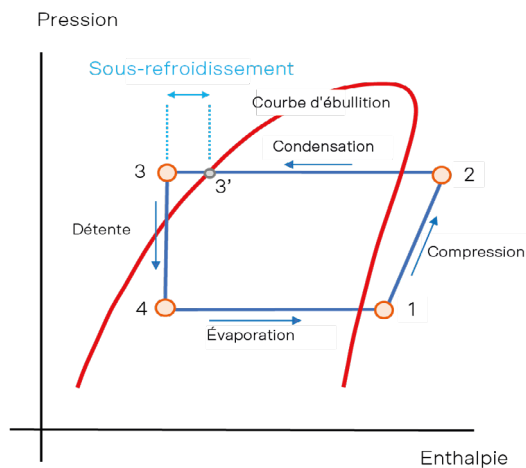


Image: Sous-refroidissement dans un diagramme enthalpique

Pourquoi le fluide frigorigène est-il sous-refroidi?

Le sous-refroidissement permet d'éviter les bulles de vapeur dans le fluide frigorigène avant le détendeur (3). Il s'avère indispensable à un fonctionnement stable et sécurisé de l'installation. Des bulles de gaz en nombre excessif (phénomène de flash gaz ou de prédétente) conduisent en effet à un fonctionnement instable et peuvent même endommager le détendeur. Elles réduisent en outre la puissance frigorifique et diminuent par conséquent l'efficacité énergétique de l'installation. En principe, chaque installation nécessite un sous-refroidissement minimal pour fonctionner correctement. Le fait que le sous-refroidissement puisse conduire à une amélioration de l'efficacité est pour l'instant secondaire.

Sécurité de fonctionnement et efficacité énergétique

La différence de température de sous refroidissement du fluide frigorigène nécessaire à la sécurité de fonctionnement d'une installation frigorifique dépend fortement de la conception de celle-ci. Les points suivants jouent également un rôle essentiel:

- Les pertes de charge et différences de hauteur par ex. une colonne liquide due à une différence de hauteur entre le condenseur (collecteur) et l'évaporateur (poste de refroidissement) dans les bâtiments.
- L'apport thermique dans le circuit de refroidissement (par ex. via la tuyauterie et les armatures).

Si le fluide frigorigène est sous-refroidi au-delà de ce point, l'efficacité énergétique de l'installation frigorifique augmente. Il existe à cet effet des limites claires au sein desquelles le sous-refroidissement s'avère judicieux.

Limites du sous-refroidissement

Un sous-refroidissement trop élevé prévient certes le flash gaz avant le détendeur, mais aussi les bulles de gaz après celui-ci (4). Or, ces bulles de gaz, ou une teneur en vapeur minimale après la détente, sont nécessaires à un fonctionnement sans perturbation du détendeur. En effet, la vapeur atténue le processus lors de la mise en route et empêche ainsi les chocs hydrauliques dans les dans les vannes de détente et les tuyaux.

Les bulles de gaz améliorent de plus la transmission de chaleur dans l'évaporateur (4 → 1) et par conséquent, l'efficacité énergétique de l'installation. C'est pourquoi il est important de ne pas sous-refroidir de manière excessive afin que la teneur en vapeur minimale requise soit conforme aux données du constructeur du détendeur.

Types de sous-refroidissement

Sous-refroidissement permanent et temporaire

En cas de sous-refroidissement permanent, le fluide frigorigène est sous-refroidi en continu. C'est ce qui se produit par exemple avec l'eau froide (puits de chaleur). Dans ce cas, le compresseur, le détendeur et les conduites peuvent être conçus de plus petite taille.

Les composants réduits sont moins chers et grâce au sous-refroidissement, l'installation frigorifique fonctionne avec une efficacité accrue. En revanche, les coûts d'exploitation augmentent en raison des dépenses occasionnées par le sous-refroidissement (par ex. coûts de l'eau froide et de l'électricité pour les pompes).

S'il s'agit d'une solution temporaire, le sous-refroidissement ne travaille en revanche que de temps en temps, par exemple lorsque la partie froide dans le tiers inférieur du ballon d'eau chaude est utilisée pour le sous-refroidissement. C'est pourquoi les composants dans le circuit frigorifique doivent être dimensionnés de sorte que l'installation fonctionne sans sous-refroidissement.

Notons que le sous-refroidissement supplémentaire augmente la surchauffe et la puissance frigorifique, particulièrement dans le cas de sous-refroidissements permanents avec un échangeur liquide vapeur. Cela peut engendrer des problèmes dans les installations surdimensionnées. Ceux-ci se manifestent par exemple par une surchauffe de l'huile pouvant conduire à une carbonisation de celle-ci.

Sous-refroidissement interne et externe

En plus des aspects «temporels» (permanent, temporaire), le sous-refroidissement se différencie selon qu'il se fait de manière interne ou externe.

Sous-refroidissement interne

Lors du sous-refroidissement interne, c'est le propre fluide frigorigène qui est utilisé pour le sous-refroidissement. Il n'y a aucun échange d'énergie avec l'extérieur. Les principales méthodes d'exécution:

- Échangeur liquide vapeur ELV
- Échangeur liquide vapeur avec bypass fluide
- Économiseur
- Sous-refroidissement propre

Sous-refroidissement externe

Le sous-refroidissement externe nécessite systématiquement un puits de chaleur qui évacue celle-ci.

- Sous-refroidisseur externe
- Booster avec refroidisseur de gaz externe / sous-refroidisseur
- Combinaison du refroidissement par installation positive et négative

Les principales méthodes d'exécution pour le sous-refroidissement sont décrits ci-après.

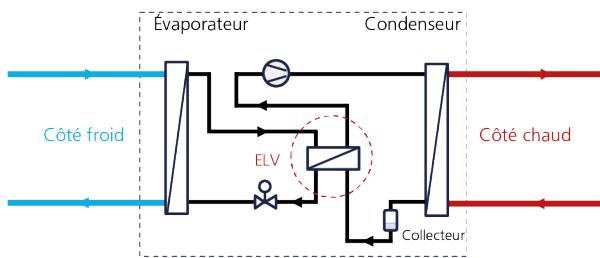
Réservoir de fluide frigorigène

Pour obtenir un sous-refroidissement efficace, un collecteur de fluide frigorigène est installé après le condenseur. Il sert de réservoir intermédiaire au liquide frigorigène non utilisé pour des charges frigorifiques variables. Si le fluide frigorigène est déjà sous-refroidi dans le condenseur, il peut se réchauffer dans le réservoir et perd ainsi son «sous-refroidissement».

Un sous-refroidissement sans réservoir n'est possible que si la condensation complète du fluide frigorigène (absence totale de gaz) est assurée avant le sous-refroidisseur. Dans certaines installations split, cela se concrétise par un condenseur direct de très grande dimension.

Échangeur interne liquide vapeur ELV

Un échangeur liquide vapeur (ELV) retire de la chaleur supplémentaire au fluide frigorigène après le condenseur. Le fluide frigorigène est ainsi sous-refroidi avant le détendeur et simultanément surchauffé avant le compresseur (gaz aspiré).



L'échangeur liquide vapeur est une solution très simple pouvant être mise en place pour tous les types de compresseurs. Il est utilisé la plupart du temps pour optimiser la sécurité de fonctionnement.

Il apporte également des avantages énergétiques dans le cas de configurations spécifiques. La sur-chauffe et la température finale de compression, influencées par l'échangeur liquide vapeur, déterminent toutefois des limites d'utilisation supplémentaires.

Augmentation de l'efficacité avec un échangeur liquide vapeur

La possibilité que l'efficacité d'une installation frigorifique puisse être accrue grâce à un échangeur liquide vapeur et l'importance de cette augmentation éventuelle dépendent principalement de trois facteurs:

1. L'exposant isentropique du fluide frigorigène
2. La perte de charge dans l'échangeur interne
3. La température d'évaporation

Exposant isentropique

Les fluides frigorigènes avec un exposant isentropique¹ proche de 1 (cf. tableau) sont particulièrement adaptés pour augmenter également l'efficacité des installations frigorifiques disposant d'un échangeur liquide vapeur.

Aptitude	Fluide frigorigène	Exposant isentropique ²
Souvent adapté	R290 (propane)	1,07
	R1234ze	1,11
	R513A	1,12
Vérifier l'adéquation	R449A	1,20
	R32	1,20
	R454B	1,21
En règle générale non adapté	R744 (CO ₂)	1,30
	R717 (NH ₃)	1,31

Modification de l'EER en %

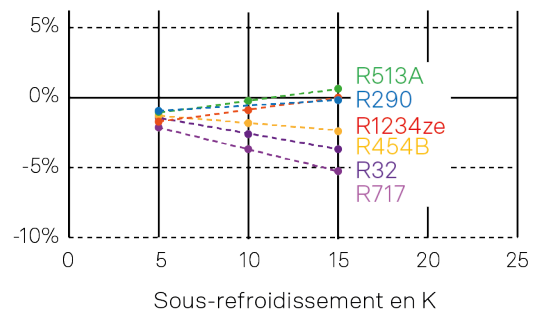


Image: Modifications de l'EER d'une climatisation frigorifique avec caloporteur ($T_0 = 5\text{ °C}$) pour diverses valeurs de sous-refroidissement. Perte de charge de l'échangeur liquide vapeur 0,05 bar.

¹ L'exposant isentropique est le rapport entre la capacité thermique du fluide frigorigène gazeux à une pression constante et la capacité thermique du fluide frigorigène à volume constant.

² Valeurs à 1,013 bar et 0 °C

Température d'évaporation

L'échangeur liquide vapeur est d'autant plus efficace que la température d'évaporation est basse. Cela s'applique surtout à des utilisations commerciales. Dans ce cas, il est intéressant d'envisager l'installation d'un échangeur de chaleur liquide vapeur.

Pour les applications de refroidissement commerciales, il est particulièrement intéressant d'envisager l'installation d'un ELV.

Perte de charge dans l'échangeur interne ELV

Si l'objectif est une augmentation de l'efficacité, la perte de charge dans l'échangeur liquide vapeur devrait se situer autour de 0,05 bar, respectivement pour 0,3 à 0,5 K (perte de charge équivalente). Les échangeurs liquide vapeur avec une perte de charge de 0,1 bar et plus sont certes moins chers à l'achat. Ils dégradent cependant rapidement l'EER de 5 à 30%, ce qui conduit à des frais de fonctionnement proportionnellement plus élevés.

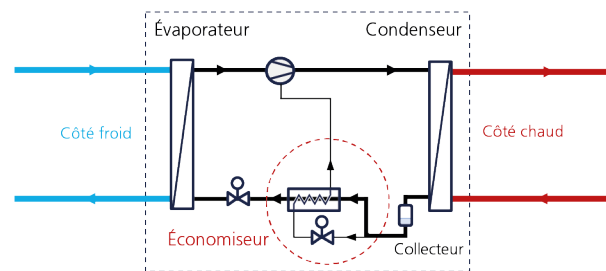
Échangeur liquide vapeur surdimensionné

Les échangeurs liquide vapeurs surdimensionnés sous-refroidissent excessivement le fluide frigorigène. Le sous-refroidissement élevé cause une surchauffe du fluide frigorigène avant le compresseur, ce qui peut alors conduire à des problèmes en fin de compression (température finale de compression et température du gaz chaud). Lors du dimensionnement de l'échangeur liquide vapeur, plusieurs points de fonctionnement doivent ainsi toujours être pris en compte, et pas seulement le point de fonctionnement nominal.

Lors du dimensionnement de l'échangeur liquide vapeur, les deux côtés doivent toujours être pris en compte: le sous-refroidissement et la surchauffe.

Échangeur liquide vapeur avec bypass de fluide

Le circuit de l'échangeur liquide vapeur avec bypass de fluide possède des caractéristiques similaires au circuit de l'échangeur liquide vapeur sans bypass. L'avantage du bypass fluide est que la surchauffe peut être régulée. Le montage est néanmoins un peu plus fastidieux.



Un regard critique

Certains fabricants et certaines institutions proposent des outils permettant de calculer le gain d'efficacité d'un échangeur liquide vapeur. Si on les utilise, il convient de prendre en compte les points suivants:

1. L'outil considère-t-il la perte de charge au niveau de l'échangeur liquide vapeur et et si oui, combien? La perte de charge est une des valeurs centrales influençant l'efficacité. Les outils réalisant des calculs avec une perte de charge de 0 bar promettent probablement un gain d'efficacité trop élevé.
2. En règle générale, le gain d'efficacité est calculé au niveau du point de fonctionnement nominal. Pour les installations qui fonctionnent souvent dans la plage de charge partielle, comme pour le froid climatique, les valeurs doivent obligatoirement être également calculées au niveau des points de charge partielle, et être pondérées en conséquence. C'est le seul moyen de déterminer l'efficacité sur toute l'année.

Économiseur

Dans le cas d'un choix avec économiseur, une partie du fluide frigorigène est prélevé après le condenseur et subit une détente. Le flux principal du fluide frigorigène est ensuite sous-refroidi dans l'économiseur et le flux secondaire est injecté dans le compresseur à pression moyenne.

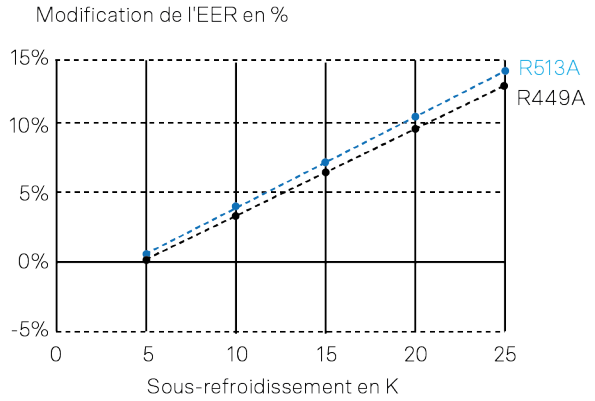
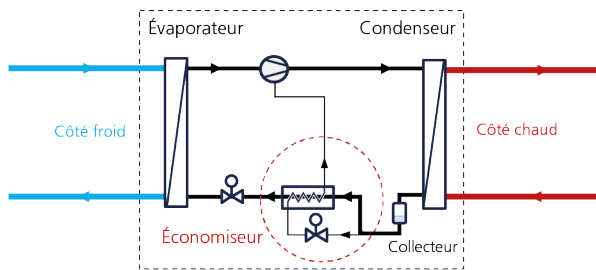


Image: Modifications de l'EER lors d'un sous-refroidissement avec un économiseur d'une installation frigorifique positive ($T_0 = -10\text{ °C}$) pour diverses valeurs de sous-refroidissement.

Le sous-refroidissement supplémentaire avec l'économiseur conduit à une légère augmentation de la puissance frigorifique. De plus, la puissance absorbée du compresseur diminue, puisqu'une partie du débit massique total nécessite un faible volume de refoulement. L'économiseur augmente ainsi l'efficacité d'une machine frigorifique.

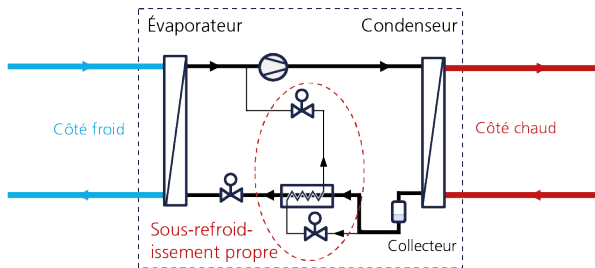
Les machines frigorifiques disposant d'un économiseur ont de plus une surchauffe constante; la température finale de compression chute sensiblement, ce qui a un effet positif sur la sécurité de fonctionnement.

La mise en place du circuit est un peu plus fastidieuse. En outre, les économiseurs ne peuvent être installés que dans les processus bi-étagé ou dans les compresseurs pour lesquels une injection est possible à pression moyenne:

- Compresseur scroll
- Compresseur à vis
- Turbocompresseur

Sous-refroidissement propre

Dans le cadre du sous-refroidissement propre, une partie du fluide frigorigène est prélevé, comme pour l'économiseur, et le flux principal de fluide frigorigène est alors sous-refroidi. Une pression moyenne «artificielle» est en plus produite par un détendeur et un régulateur de pression d'aspiration (régulateur de pression d'évaporation), avant que le flux partiel après l'évaporateur n'alimente à nouveau le flux principal.



Le sous-refroidissement propre n'a aucune influence sur la surchauffe, ni sur la température finale de compression. Il peut en plus être utilisé pour tous les types de compresseurs.

Il n'a toutefois (malheureusement) aucune influence sur l'efficacité de l'installation. Il est mis en place lorsque le sous-refroidissement nécessaire minimum ne peut être atteint sans mesure supplémentaire. Cela peut être par exemple le cas pour une installation frigorifique pour laquelle le condenseur ou le réservoir sont placés dans la cave, tandis que les postes de refroidissement (évaporateurs) se trouvent aux 1er, 2e et 3e étages.

Ce type de sous-refroidissement n'ayant aucune influence sur l'efficacité énergétique, il n'a pas été étudié avec précision dans l'étude préliminaire de la ZHAW.

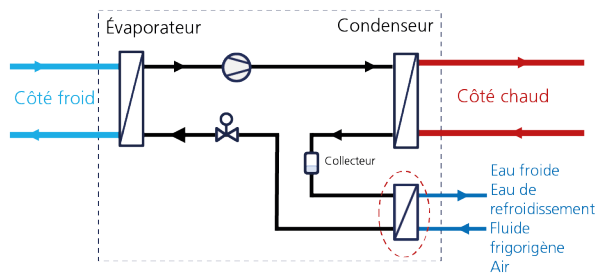
Cas particulier du NH₃ (ammoniac)

L'ammoniac est un des meilleurs fluides frigorigènes, aussi bien du point de vue de l'efficacité énergétique que de l'environnement. Néanmoins, en raison de ses caractéristiques physiques, comme son exposant isentropique élevé (cf. page 4), le NH₃ ne convient pas pour le sous-refroidissement avec un échangeur de chaleur interne. Le gain d'efficacité est faible pour les circuits avec économiseur. Et même dans le cas des échangeurs de chaleur externe, l'amélioration de l'EER n'atteint que la moitié de celle des autres fluides frigorigènes, en raison d'un sous-refroidissement supplémentaire.

Pour les installations à l'ammoniac, la priorité du sous-refroidissement est donc la sécurité de fonctionnement et non l'efficacité énergétique en premier lieu.

Sous-refroidisseur externe

Dans le cadre du sous-refroidissement externe, le fluide frigorigène est sous-refroidi après le condenseur et le réservoir par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur supplémentaire. Le sous-refroidissement peut être réalisé avec de l'eau froide, de l'eau de refroidissement, un fluide frigorigène (2^e circuit de refroidissement) ou de l'air.

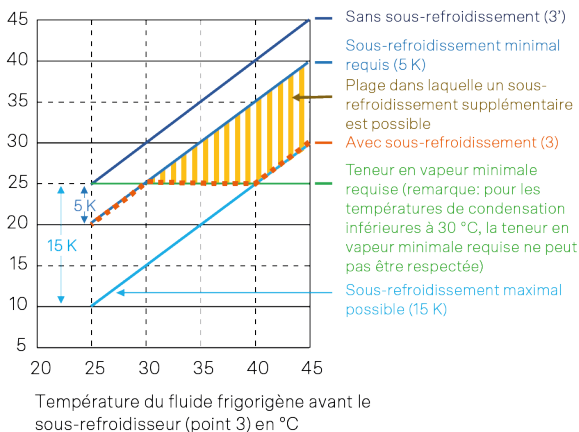


Le gros avantage du sous-refroidissement externe est qu'il n'agit pas directement sur le compresseur. Le sous-refroidissement supplémentaire ne conduit donc ni à une surchauffe additionnelle, ni à un dépassement de la température finale de compression admissible. Un sous-refroidissement externe peut en outre être utilisé pour tous les types de compresseur.

Limites du sous-refroidissement externe

Le sous-refroidissement supplémentaire maximal possible est défini par le puits de chaleur existant (par ex. 15 K). Cette valeur est limitée à son maximum par la teneur en vapeur minimale requise dans le fluide frigorigène après le détendeur ($T_c \text{ min.} = 25 \text{ K}$). La limite inférieure est établie par le sous-refroidissement minimal requis (5 K).

Température du fluide frigorigène après le sous-refroidisseur (point 3') en °C



Augmentation de l'efficacité possible de 10 à 15%

Grâce à un sous-refroidisseur externe, il est possible d'améliorer la puissance de refroidissement de l'installation frigorifique de manière significative. Ce faisant, l'efficacité de l'installation augmente jusqu'à 25%, selon le point de fonctionnement et le fluide frigorigène. Sur une année complète, cela correspond à une amélioration de l'efficacité énergétique de 10 à 15%.

Il s'avère ici aussi que le fluide frigorigène avec un faible exposant isentropique convient généralement mieux pour un sous-refroidissement efficace.

Modification de l'EER en %

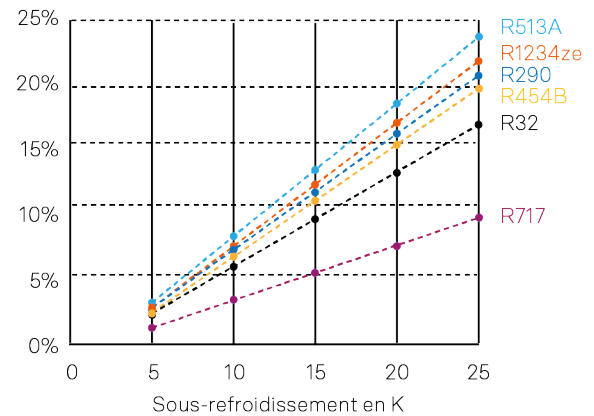


Image: Modification de l'EER pour le froid climatique avec caloporteur ($T_0 = 5 \text{ °C}$) pour diverses valeurs de sous-refroidissement et différents fluides frigorigènes.

Exemples de puits de chaleur

Quels puits de chaleur sont adaptés?

Tous les milieux ayant une température inférieure à celle du fluide frigorigène après le condenseur sont de bons puits de chaleur pour le sous-refroidissement. En pratique, on rencontre les puits de chaleur suivants:

Air extérieur

La plupart des installations peuvent être sous-refroidies avec de l'air extérieur. En raison des variations de température, cela ne garantit toutefois pas un sous-refroidissement permanent avec des températures fixes. La contribution du sous-refroidissement chute de plus en plus en fonctionnement en charge partielle. L'air extérieur peut toutefois être un puits de chaleur intéressant, particulièrement dans le cas des installations frigorifiques en exploitation toute l'année.

Eau potable (eau froide)

L'eau potable a une température comprise entre 10 et 14 °C toute l'année et serait bien adaptée à un sous-refroidissement permanent. Si l'on souhaite sous-refroidir avec de l'eau potable, les frais d'eau et d'eaux usées produites ainsi que les taxes annuelles supplémentaires doivent être calculés et inclus dans l'analyse. Il faut en outre disposer d'une autorisation dans certaines communes.

Nappes phréatiques

Les températures des nappes phréatiques en Suisse se situent entre 5 et 15 °C et conviennent à un sous-refroidissement permanent. L'utilisation des eaux souterraines est soumise à autorisation. Elle entraîne de plus une certaine charge de travail (forage) et le cas échéant, des frais d'utilisation.

Ballon d'eau chaude (sanitaire)

Le ballon d'eau chaude est alimenté en eau potable froide à 12 °C, qui est ensuite réchauffée à 60 °C. La basse température de l'eau froide sous-refroidit le fluide frigorigène, l'eau étant préchauffée dans le ballon (par ex. de 12 °C à 25 °C). S'il y a un préchauffage d'eau chaude, il s'agit la plupart du temps de sous-refroidissements temporaires, car l'eau froide ne peut pas être garantie de manière fiable à chaque instant.

Sondes géothermiques

Les installations frigorifiques intégrées à un système avec sondes géothermiques peuvent utiliser celles-ci comme puits de chaleur. L'eau froide à 15 °C issue de la sonde géothermique sous-refroidit l'installation frigorifique et améliore son efficacité. L'installation frigorifique contribue en retour à la régénération de la sonde géothermique.

Réseau anergique

Les réseaux anergiques fonctionnent avec des températures comprises entre 10 et 20 °C. Ils constituent de bons puits de chaleur pour un sous-refroidissement permanent, dès lors qu'ils se situent à proximité immédiate. Les frais de raccordement et de fonctionnement doivent toutefois être calculés avec exactitude lors de l'analyse, pour éviter toute surprise au niveau de la rentabilité.

Rentabilité

Une bonne planification du sous-refroidissement engendre une baisse des coûts énergétiques. Pour analyser la rentabilité, les frais d'investissement et de fonctionnement doivent absolument être pris en compte.

Frais d'investissement

- Dépenses supplémentaires dans le circuit de refroidissement comme l'échangeur liquide vapeur, la tuyauterie, les vannes de détente etc.: En cas de sous-refroidissement permanent, il est également possible de réaliser des économies.
- Échangeur de chaleur supplémentaire
- Conduites de raccordement à la nappe phréatique, réseau anergique

Frais de fonctionnement

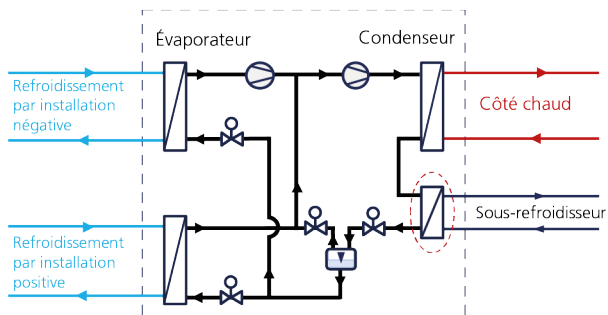
- Frais pour eau potable et eaux usées
- Frais énergétiques (ventilateurs et les pompes)
- Frais pour l'utilisation de la nappe phréatique ou de l'énergie issue du réseau anergique

Les frais de fonctionnement supplémentaires sont très souvent sous-estimés. L'efficacité du système entier ne s'améliore que si le gain d'efficacité de la machine frigorifique est supérieur aux énergies auxiliaires supplémentaires requises.

Solutions particulières

Installation booster CO₂ avec sous-refroidisseur externe

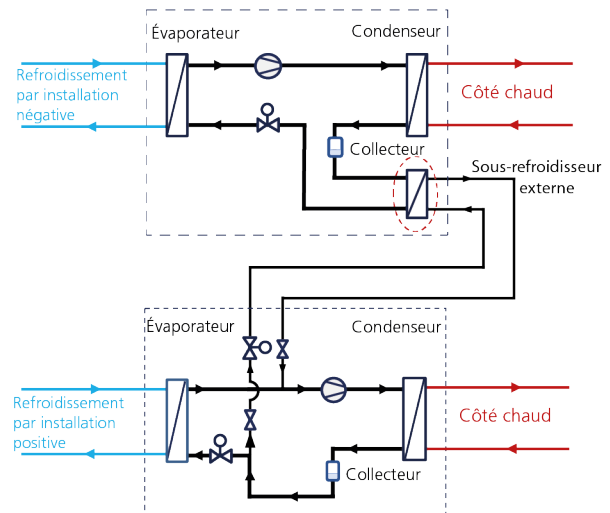
Dans le cas d'une installation booster CO₂, l'efficacité du refroidissement des installations positives ou négatives peut être augmentée à l'aide du sous-refroidissement externe.



Avec le sous-refroidissement, il est possible d'agir sur le refroidissement de l'installation négative comme sur celui de la positive. En raison de la variation de température, le sous-refroidissement supplémentaire de l'installation positive améliore un peu plus l'efficacité que le sous-refroidissement supplémentaire de l'installation négative.

Combinaison de refroidissement par installation positive et négative

Dans le cas d'une installation positive-négative, l'installation de refroidissement positive peut être en plus utilisée pour sous-refroidir l'installation de refroidissement négative.



Lors d'une course de refoulement de l'installation négative, l'efficacité du système entier est légèrement améliorée avec ce circuit. L'avantage du montage réside toutefois principalement dans le fait qu'il augmente la puissance frigorifique et la sécurité de fonctionnement de l'installation négative.

Pour des informations plus détaillées à ce sujet, voir rapport de la ZHAW, page 128

Synthèse des types de sous-refroidissement

Les principaux types de sous-refroidissement et leurs caractéristiques. Le sous-refroidissement ...

... influence la température finale de compression (température de gaz chaud)					
... conduit à une surchauffe supplémentaire					
... convient aux types de compresseurs ci-après					
... nécessite un puits de chaleur externe					
... augmente l'efficacité énergétique					
	↓	↓	↓	↓	↓

Sous-refroidissement interne

Échangeur liquide vapeur	seulement avec les fluides frigorigènes avec de faibles exposants isentropiques	aucun puits de chaleur nécessaire	convient à tous les types	augmente la surchauffe	augmente fortement la température du gaz chaud
Échangeur liquide vapeur avec bypass fluide	seulement avec les fluides frigorigènes avec de faibles exposants isentropiques	aucun puits de chaleur nécessaire	convient à tous les types	augmente la surchauffe	augmente la température du gaz chaud
Économiseur	augmente l'efficacité jusqu'à 15%	aucun puits de chaleur nécessaire	seulement pour compresseur scroll, à vis et turbo-compresseur ou processus bi-étagé	aucune influence sur la surchauffe	réduit la température du gaz chaud
Sous-refroidissement propre	aucune influence sur l'efficacité	aucun puits de chaleur nécessaire	convient à tous les types	aucune influence sur la surchauffe	aucune influence sur la température du gaz chaud

Sous-refroidissement externe

Sous-refroidisseur externe	augmente l'efficacité jusqu'à 30%	puits de chaleur nécessaire	convient à tous les types	aucune influence sur la surchauffe	aucune influence sur la température du gaz chaud
Booster CO ₂ avec sous-refroidissement externe	augmente l'efficacité jusqu'à 30%	puits de chaleur nécessaire	convient à tous les types	aucune influence sur la surchauffe	aucune influence sur la température du gaz chaud
Combinaison installations positive et négative	faible influence sur l'efficacité	puits de chaleur nécessaire	convient à tous les types	aucune influence sur la surchauffe	aucune influence sur la température du gaz chaud

très bonne condition
 vérifier les caractéristiques
 vérifier avec attention les caractéristiques – évtl. inadapté

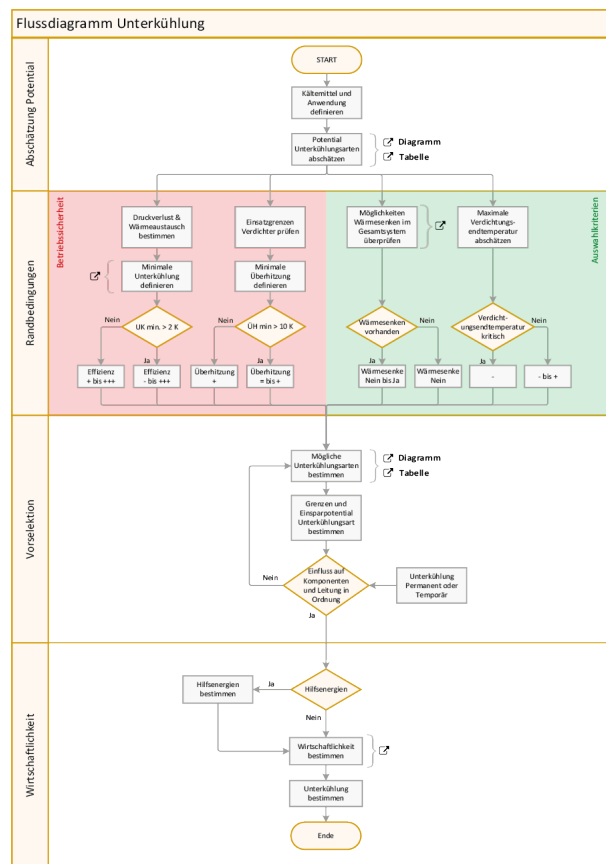
Définir le type de sous-refroidissement

Sept points relatifs au sous-refroidissement

Le type de sous-refroidissement constituant la meilleure solution et la différence de température de celui-ci dépendent des sept points suivants:

1. L'application de froid à laquelle le sous-refroidissement est destiné: s'agit-il de froid climatique, d'une installation positive ou négative?
2. Le fluide frigorigène et ses caractéristiques physiques (exposant isentropique).
3. Le sous-refroidissement minimal requis pour un fonctionnement sans perturbation. Celui-ci est déterminé par la perte de charge entre le réservoir et le détendeur.
4. La surchauffe minimale requise (selon le constructeur du compresseur) avant le compresseur pour un fonctionnement sans perturbation.
5. Puits de chaleur (eau froide, air froid, etc.) disponibles et pouvant être utilisés de manière rentable. Les puits de chaleur sont-ils disponibles de manière temporaire ou permanente?
6. Température finale de compression maximale ne pouvant pas être dépassée avec le fluide frigorigène sélectionné?
7. La rentabilité du sous-refroidissement supplémentaire: les investissements supplémentaires et les frais de fonctionnement des énergies auxiliaires et des ressources (eau) doivent être calculés et comparés avec les économies dues à une meilleure efficacité.

L'étude de la ZHAW contient un diagramme de flux qui décrit la marche à suivre vers un sous-refroidissement «optimal». Divers graphiques et tableaux livrent en outre les bases décisionnelles nécessaires au choix du type de sous-refroidissement. L'étude de la ZHAW est disponible en allemand.



Obstacles

Dans la pratique, les mêmes défaillances se présentent systématiquement dans le cadre des sous-refroidissements.

Sous-refroidissement trop faible

Un sous-refroidissement trop faible du fluide frigorigène entre le réservoir et le détendeur conduit à la formation de flash gaz avec les dommages en conséquence. L'importance d'un sous-refroidissement suffisant est souvent négligée, en particulier avec de longues colonnes montantes, lorsque les postes de refroidissement sont agencés au-dessus du condenseur/réservoir.

Échangeur liquide vapeur avec sous-refroidissement excessif

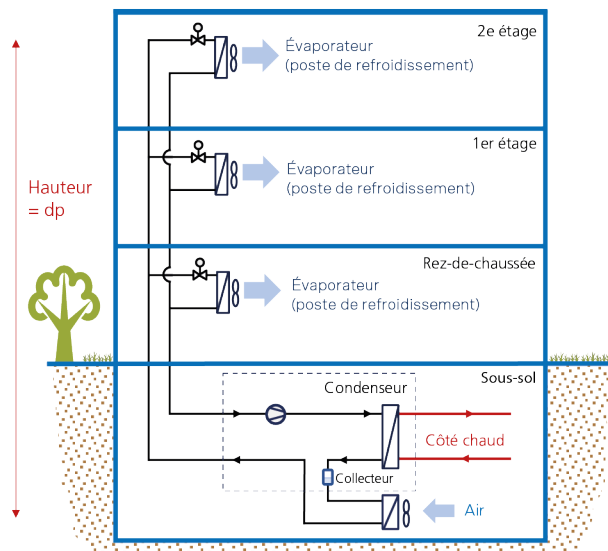
Un sous-refroidissement avec un échangeur liquide vapeur conduit à une surchauffe plus importante du fluide frigorigène avant le compresseur. Si le sous-refroidissement est trop important, la température de fin de compression peut être dépassée, en fonction du fluide frigorigène et du type de compresseur. Le compresseur doit être mis hors service afin qu'il ne subisse aucun dommage.

Fonctionnement en charge partielle négligé

Pour le froid climatique est utilisé 98% du temps en charge partielle. Lors de la conception, la contribution du sous-refroidissement supplémentaire en charge partielle est décisive. Selon la situation, des limites sont posées au sous-refroidissement (par ex. via la plage de fonctionnement du détendeur). La situation de charge partielle est surtout à tenir en compte lors de l'analyse de la rentabilité.

Échangeur liquide vapeur avec perte de charge excessive

Si un échangeur liquide vapeur avec une perte de charge trop importante est installé pour des raisons économiques, la surchauffe minimale peut certes être assurée. Néanmoins, l'efficacité de l'installation se détériore de manière sensible. En fonction du fluide frigorigène, l'EER chute jusqu'à 10% pour une installation frigorifique avec un échangeur liquide vapeur produisant une perte de charge substantielle de 0,6 bar.



On ne peut espérer une augmentation de l'efficacité que lorsque la perte de charge de l'échangeur liquide vapeur se situe autour de 0,05 bar.

Informations complémentaires

Sous-refroidissement du fluide frigorigène: notions de base et guide relatif au gain d'efficacité et de refroidissement

ZHAW, 20 juillet 2022

- Notions de base sur le sous-refroidissement
- Description de la simulation
- Résultats des simulations de circuits pour les types de sous-refroidissement ci-après
 - Échangeur liquide vapeur
 - Échangeur liquide vapeur avec bypass liquide
 - Économiseur
 - Sous-refroidisseur externe
 - Booster avec sous-refroidisseur externe
 - Combinaison du refroidissement par installation positive et négative
- Diagramme de flux: marche à suivre pour un sous-refroidissement optimal
- Recommandations en matière de planification
- Erreurs courantes

Téléchargement gratuit de l'étude préliminaire sur <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/11031>

Source de l'image:
Photo page de titre: Shutterstock
Illustrations: zweiweg

SuisseEnergie
Office fédéral de l'énergie OFEN
Pulverstrasse 13
CH-3063 Ittigen
Adresse postale: CH-3003 Berne

Infoline 0848 444 444
infoline.suisseenergie.ch

suisseenergie.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch
twitter.com/energieschweiz