

FREE-COOLING

LES SOLUTIONS INGÉNIEUSES ONT BESOIN DE JUGÉOTE



LE FREE-COOLING OU RAFRAÎCHISSEMENT GRATUIT POUR LA CLIMATISATION EST UNE BONNE CHOSE. POUR QUE LE FREE-COOLING RÉPONDE AUX ATTENTES (ÉLEVÉES), IL FAUDRA EN PHASE DE PLANIFICATION ÉTUDIER MINUTIEUSEMENT LE SYSTÈME DANS SON ENSEMBLE, LE BILAN ÉNERGÉTIQUE DE L'ENSEMBLE DU BÂTIMENT AINSI QUE LA RENTABILITÉ DU PROJET.

En termes de technique des bâtiments, le «Free-Cooling» est un terme perçu favorablement. Ce terme de «Free cooling» donne en effet l'impression que le refroidissement ne coûte rien, ne nécessite guère d'énergie et contribue donc à la protection de l'environnement. C'est pour cette raison que les planificateurs, les maîtres d'ouvrages et les autorités réclament souvent la mise en œuvre de ces solutions de Free-Cooling.

Les expertes et experts en technique des bâtiments supposent toutefois depuis longtemps que les apparences sont trompeuses. Le refroidissement d'un bâtiment par Free-Cooling n'est pas systématiquement la solution optimale en matière énergétique ou économique. Dans le pire des cas, les solutions de Free-Cooling

peuvent même entraîner des surcoûts élevés tout en aggravant simultanément l'équilibre énergétique global d'un bâtiment. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et la Haute école zurichoise de sciences appliquées ZHAW ont voulu creuser ce sujet. La ZHAW a donc enquêté pour le compte de l'OFEN sur les conditions et les entreprises pour lesquelles le Free-Cooling se justifie dans la pratique. Cette fiche technique présente les principales considérations et conclusions de l'étude ZHAW.



suisse énergie

Notre engagement : notre futur.

FREE-COOLING AVEC L'AIR NEUF

REFROIDIR AVEC LE FROID AMBIANT

On parle de Free-Cooling lorsqu'un bâtiment est refroidi «gratuitement», c'est-à-dire sans dispositif de réfrigération. En tant que source de froid, on pourra utiliser l'air neuf, les eaux souterraines, les eaux marines ou fluviales ou les souterrains. Dans cette fiche technique, nous aborderons les systèmes utilisant l'air neuf.¹

Pour ce qui est du Free-Cooling avec l'air neuf on distingue entre le Free-Cooling direct et indirect.

FREE-COOLING DIRECT

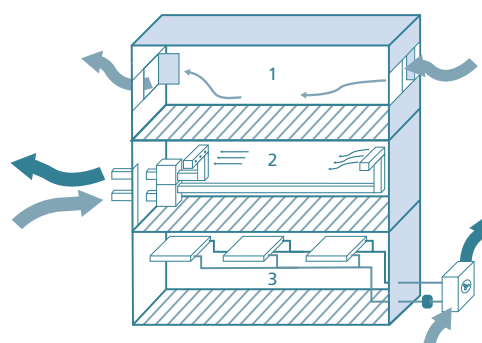
Le cas le plus courant est le rafraîchissement gratuit avec l'air neuf. Ce principe permet de contribuer judicieusement au refroidissement du local grâce à la fraîcheur nocturne. Lorsque la température de l'air neuf passe en dessous de 18°C (en principe en été entre minuit et 6h00 du matin) on parle alors de Free-Cooling. Le Free-Cooling direct peut se faire directement en ouvrant les fenêtres ou en s'appuyant sur le système de ventilation et constitue une solution aussi simple qu'énergétiquement rentable.

Durant le court laps de temps disponible pendant les nuits d'été, le Free-Cooling direct ne permet toutefois pas de dissiper l'ensemble de la chaleur emmagasinée dans la journée. L'inertie de masse ainsi que les amplitudes thermiques trop faibles entre l'intérieur et l'extérieur ont un impact «trop lent». Pour abaisser les températures de manière durable, cela nécessiterait de très grands débits d'air pour avoir suffisamment «d'air frais». À cela s'ajoute que nous sommes de plus en plus confrontés à des nuits tropicales où les températures extérieures ne parviennent plus à passer sous la barre des 20°C. Lorsque ce type de scénario perdure plusieurs jours voire plusieurs semaines, on constate que le concept de Free-Cooling direct se révèle tout à fait inefficace.

¹ Pour en savoir plus sur le Free-Cooling avec les eaux souterraines, les eaux marines ou fluviales ou les couches du sous-sol, veuillez consulter le guide spécialisé «Klimakälte heute» (2019)

2. Refroidissement avec la ventilation

Chaque système de ventilation mécanique (Avec bypass du récupérateur de chaleur) permet de mettre en place un «Free-Cooling» pour des températures extérieures inférieures à 18°C, car l'air neuf pénètre en continu dans les locaux.



1. Refroidissement par les fenêtres

Faire circuler l'air froid par les fenêtres ouvertes (aération transversale). Veillez aux protections contre la pluie, le vent et les cambrioleurs.

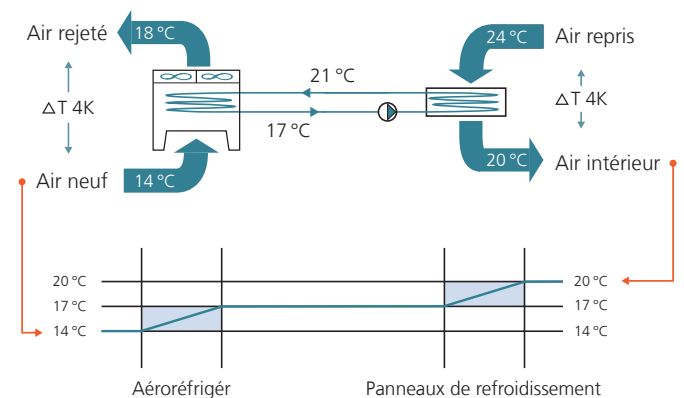
3. Refroidissement par système d'eau glacée

L'eau de refroidissement du système d'eau glacée est refroidie par l'air extérieur via l'aéroréfrigérant et directement acheminée (sans dispositif de réfrigération) dans les locaux

FREE-COOLING INDIRECT

Dans un système de Free-Cooling indirect, on s'appuie sur le réseau d'eau glacée existant du système de conditionnement de l'air pour dissiper la chaleur. Le dispositif de réfrigération est hors-service, ou ne couvre que l'appoint qui n'est pas assuré par le Free-Cooling.

Le Free-Cooling indirecte nécessite deux échangeurs thermiques: L'aéroréfrigérant et la production d'eau glacée. Les échangeurs thermiques correctement dimensionnés affichent une différence de température de 3 à 4 K.



Cela signifie qu'avec une température externe de 14°C la température effective de l'air sur les panneaux refroidissants dans le local est d'environ 20°C. Cela réduit les jours où le Free-Cooling indirect peut être utilisé.

APERÇU DU SYSTÈME COMPLET

PRENDRE EN COMPTE LES BESOINS THERMIQUES (CHAUD/FROID) DE MANIÈRE HOLISTIQUE

Avec le Free-Cooling, la chaleur du bâtiment est évacuée, autrement dit: on «élimine» l'énergie calorifique. S'il y a par contre simultanément un besoin de chaleur au sein du bâtiment, il est judicieux de conserver celle-ci à ces fins. L'utilisation d'un dispositif de Free-Cooling est particulièrement intéressant dans les mois de transition (au printemps et en automne) ainsi que lors des hivers rigoureux, où l'on va pouvoir utiliser les basses températures extérieures pour refroidir efficacement. Mais c'est précisément dans ces mêmes périodes que les bâtiments ont besoin de chaleur pour être chauffés ou pour chauffer l'eau potable.

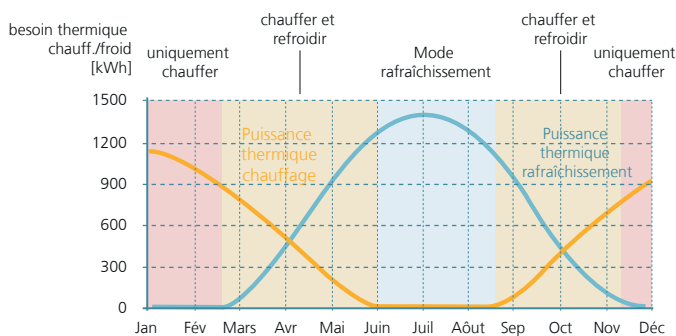


Image: Les courbes mensuelles de charge de chauffage et de refroidissement montrent que dans les bâtiments administratifs présentant des besoins de chauffage, la période effective de besoins de refroidissement peut être limitée à quelques semaines. On illustre ici l'historique des charges qui dépendent du climat extérieur. Les charges internes et les apports thermiques (dés humidification) ne sont pas prises en compte.

Afin d'évaluer l'option de Free-Cooling, il est donc impératif de tenir compte des exigences de chauffage du bâtiment, en plus des besoins de refroidissement. On constate alors que pour de nombreux bâtiments, la période sur laquelle le Free-Cooling peut effectivement être utilisé de manière justifiée et rentable est donc très réduite.

EXIGENCES EN TERMES DE TEMPÉRATURE DE L'AIR

Contrairement à un système de climatisation, un simple système de Free-Cooling ne permet pas, en été, de garantir une température ambiante fixe; on parle alors uniquement locaux tempérés. Beaucoup de locaux ne nécessitent pas une température garantie. Dans ce cas, une régulation «naturelle» de la température par Free-Cooling s'avère être une bonne solution.

TENIR COMPTE DE L'HYGROMÉTRIE DE LA PIÈCE

Le Free-Cooling indirect réduit la température ambiante; cela génère parallèlement une augmentation de l'humidité relative. Sur les surfaces refroidies, l'air chaud peut alors condenser, ce qui peut provoquer de la corrosion sur l'installation et à la formation de gouttelettes.

On peut éviter un tel phénomène en déshumidifiant (partiellement) l'air fourni dans les locaux. Pour la déshumidification complète ou partielle de l'air, des températures d'eau glacée inférieures à ce qu'autorise en général le Free-Cooling (par ex. 14°C) sont toutefois nécessaires. Il faudra donc éventuellement activer la production d'eau glacée en phase de Free-Cooling, ou que le Free-Cooling nécessite éventuellement des températures extérieures beaucoup plus basses (par exemple 12°C) ou bien activer la ventilation mécanique. Ce faisant on veillera systématiquement au confort intérieur nécessaire.

EN PLUS DU REFROIDISSEMENT, IL CONVIENT DE TOUJOURS TENIR COMPTE DE L'HUMIDITÉ DANS LES ESPACES INTÉRIEURS.

INTÉGRATION HYDRAULIQUE

Le raccordement hydraulique du Free-Cooling peut se faire en parallèle ou en série.

RACCORDEMENT EN PARALLÈLE

Le raccordement en parallèle (que l'on retrouve ci-après dans les variantes 1, 2 et 4) permet une exploitation alternative bivalente («soit, soit»). Ce faisant la chaleur des locaux est diffusée soit directement depuis l'échangeur de chaleur Free-Cooling, soit du dispositif de réfrigération vers l'aéroréfrigérant. En mode Free-Cooling, le dispositif de réfrigération est hors service.

RACCORDEMENT EN SÉRIE

Le raccordement en série (que l'on retrouve ci-après dans les variantes 3 et 5) permet une exploitation parallèle bivalente («non seulement..., mais aussi...»). La chaleur peut être diffusée de trois façons différentes.

- A: Le dispositif de réfrigération est hors service et la chaleur est complètement évacuée dans l'environnement externe via l'aéroréfrigérant du Free-Cooling (100% Free-Cooling)
- B: l'eau glacée préchauffé des locaux est prérefroidie dans l'aéroréfrigérant Free-Cooling. Ensuite la chaleur résiduelle est évacuée par le groupe d'eau glacée. La chaleur du groupe d'eau glacée est évacuée par son propre aéroréfrigérant
- C: L'ensemble de la chaleur est évacuée par la production d'eau glacée (sans Free-Cooling)

Le raccordement en série du Free-Cooling d'un dispositif de réfrigération est exigeant du point de vue hydraulique et de la régulation, car le dispositif de réfrigération est très sensible aux températures sujettes à de grandes amplitudes.

RACCORDEMENT EN PARALLÈLE ET EN SÉRIE

En combinant les deux types de raccordement série et parallèle, nous sommes en mesure de fusionner les avantages des deux systèmes et de concevoir des solutions écoénergétiques. Cependant, ces systèmes sont très exigeants du point de vue technique et ne seront donc pas abordés plus en détail dans la présente fiche technique.

DANS QUELLE CONFIGURATION LE FREE-COOLING EST-IL JUSTIFIÉ?

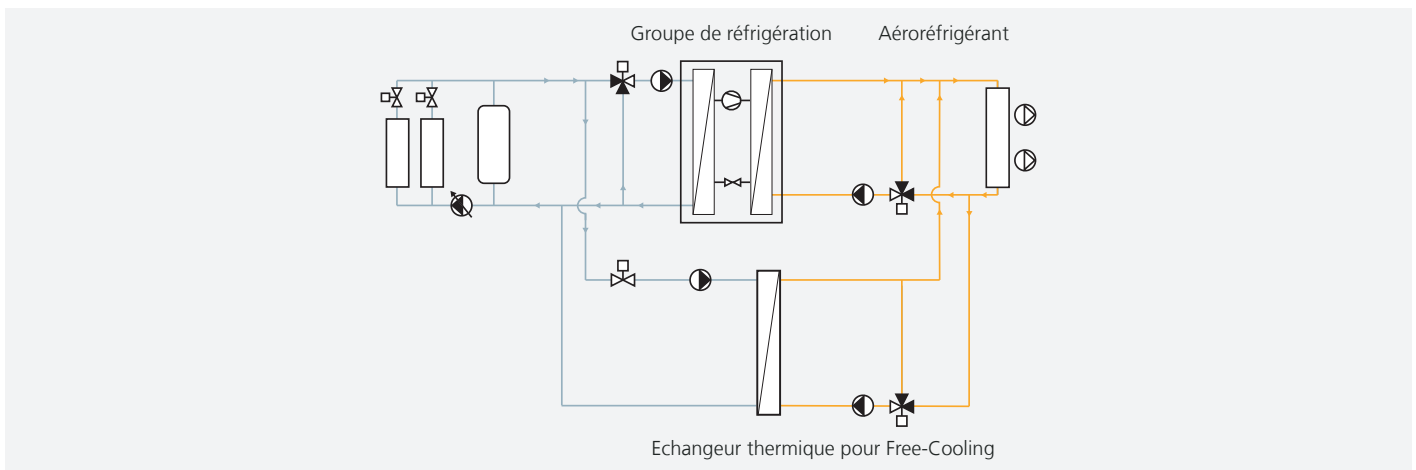
L'étude de la ZHAW sur le «Free-Cooling dans la climatisation» a examiné le potentiel de refroidissement du Free-Cooling indirect (refroidissement avec le circuit d'eau glacée). La ZHAW décrit la contribution potentielle du Free-Cooling pour répondre aux besoins de refroidissement total d'un bâtiment.

L'étude ZHAW montre le potentiel de cinq raccordements hydrauliques de Free-Cooling différents qui sont présentés ci-dessous. Les températures de flux pour cycle de réfrigération constituent des valeurs empiriques relatives au site Zurich-Kloten.

FREE-COOLING AVEC PRODUCTION D'EAU GLACÉE 1

VARIANTE 1: FREE-COOLING VIA L'AÉROREFROIDISSEUR DU DISPOSITIF DE RÉFRIGÉRATION

Exploitation: Alternative bivalente («soit, soit»)



Généralement utilisé pour les consommateurs utilisant les températures d'eau glacée suivantes:

TEMPÉRATURE DE FLUX CYCLE DE RÉFRIGÉRATION

pour échangeur de chaleur sec	supérieur à 22°C
pour échangeur de chaleur humide	supérieur à 20°C

En mode Free-Cooling, le dispositif de réfrigération est hors service.

Avantages

- + variante la moins onéreuse

Inconvénients

- la moins efficace de toutes les variantes
- La différence de température via l'échangeur thermique réduit le potentiel.

REMARQUE

Si l'échangeur thermique pour le Free-Cooling est à l'extérieur, les conduites d'eau et l'échangeur de chaleur à plaques peuvent bénéficier d'une très bonne isolation et être protégés du gel par un cordon chauffant (2°C). Cela permet d'éviter l'utilisation de glycol dans le réseau d'eau froide.

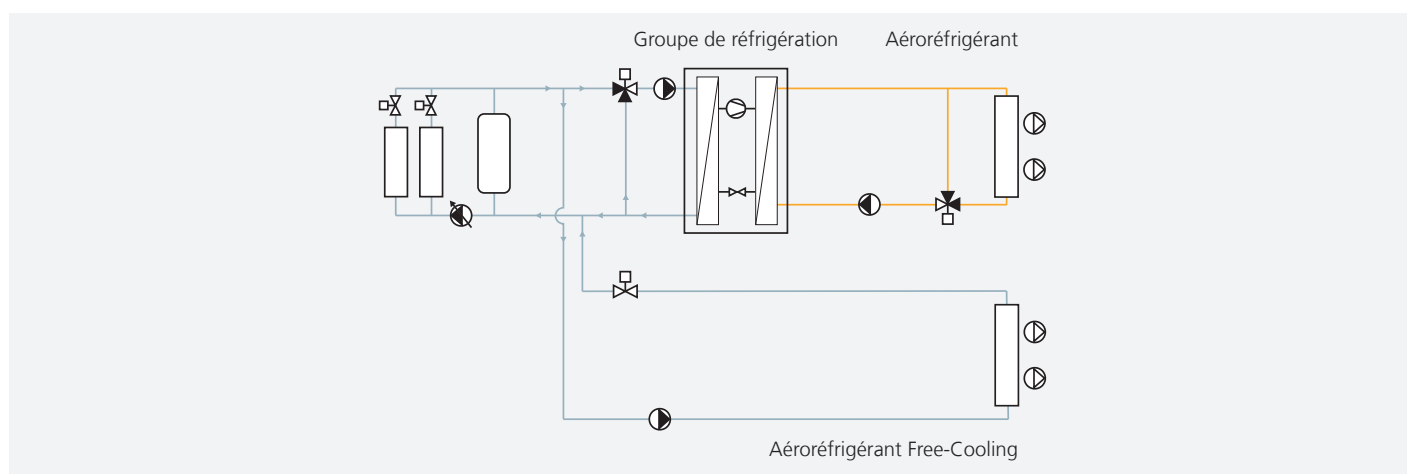
Légende concernant les conduites:

- Caloporteur
- Caloporteur/avec glycol
- Réfrigérant

FREE-COOLING AVEC PRODUCTION D'EAU GLACÉE 2

VARIANTE 2: FREE-COOLING VIA UN ÉCHANGEUR DE CHALEUR SUPPLÉMENTAIRE RACCORDÉ EN PARALLÈLE

Exploitation: Alternative bivalente («soit, soit»)



Généralement utilisé pour les consommateurs utilisant les températures d'eau glacée suivantes:

TEMPÉRATURE DE FLUX CYCLE DE RÉFRIGÉRATION	
pour échangeur de chaleur sec	supérieur à 22 °C
pour échangeur de chaleur humide	supérieur à 18 °C

En mode Free-Cooling, le dispositif de réfrigération est hors service.

Avantages

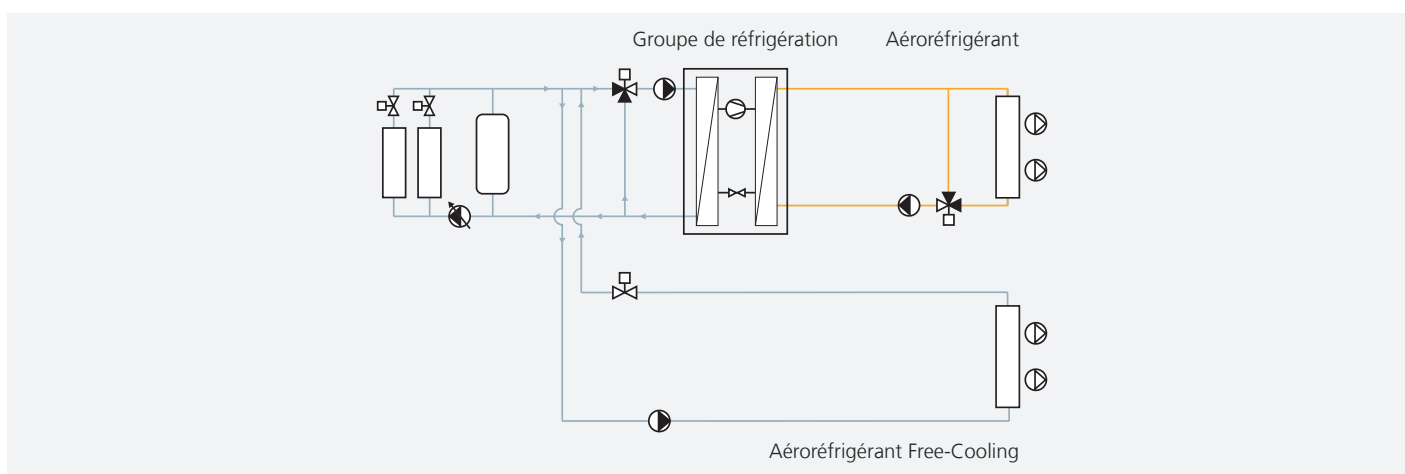
- + plus efficace que la variante 1

Inconvénients

- Intégration plus compliquée
- moins efficace que les variantes 3 et 5
- Pour la protection contre le gel, une eau glycolée doit être prévu en tant que caloporteur dans l'ensemble du système. Ou bien le système doit être équipé d'un échangeur de chaleur de Free-Cooling qui se vide automatiquement en cas de gel.

VARIANTE 3: FREE-COOLING VIA UN ÉCHANGEUR DE CHALEUR SUPPLÉMENTAIRE RACCORDÉ EN SÉRIE

Exploitation: Parallèle bivalent («non seulement..., mais aussi...»)



Généralement utilisé pour les consommateurs utilisant les températures d'eau glacée suivantes:

TEMPÉRATURE DE FLUX CYCLE DE RÉFRIGÉRATION	
pour échangeur de chaleur sec	supérieur à 18 °C
pour échangeur de chaleur humide	supérieur à 14 °C

En mode Free-Cooling, le dispositif de réfrigération peut assister le système.

Avantages

- + La variante la plus efficace – avec la variante 5

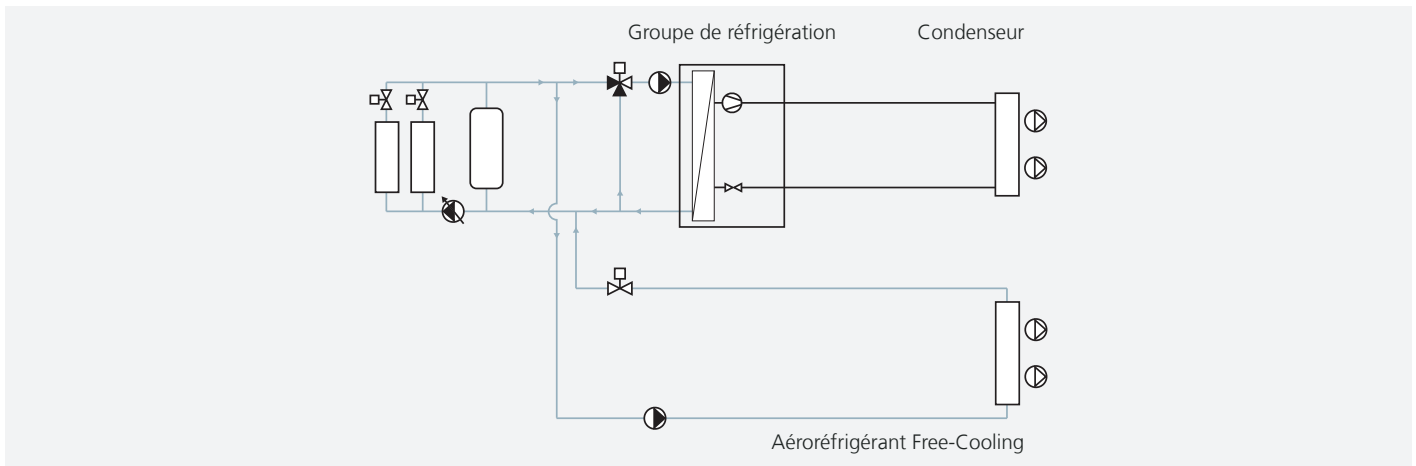
Inconvénients

- Intégration plus compliquée
- Pour la protection contre le gel, une eau glycolée doit être prévu en tant que caloporteur dans l'ensemble du système. Ou bien le système doit être équipé d'un échangeur de chaleur de Free-Cooling qui se vide automatiquement en cas de gel.

FREE-COOLING AVEC CONDENSATION DIRECTE

VARIANTE 4: CONDENSATION DIRECTE AVEC FREE-COOLING VIA UN ÉCHANGEUR DE CHALEUR RACCORDÉ EN PARALLÈLE

Exploitation: Alternative bivalente («soit, soit»)



Généralement utilisé pour les consommateurs utilisant les températures d'eau glacée suivantes:

TEMPÉRATURE DE FLUX CYCLE DE RÉFRIGÉRATION	
pour échangeur de chaleur sec	supérieur à 22 °C
pour échangeur de chaleur humide	supérieur à 18 °C

En mode Free-Cooling, le dispositif de réfrigération est hors service.

Avantages

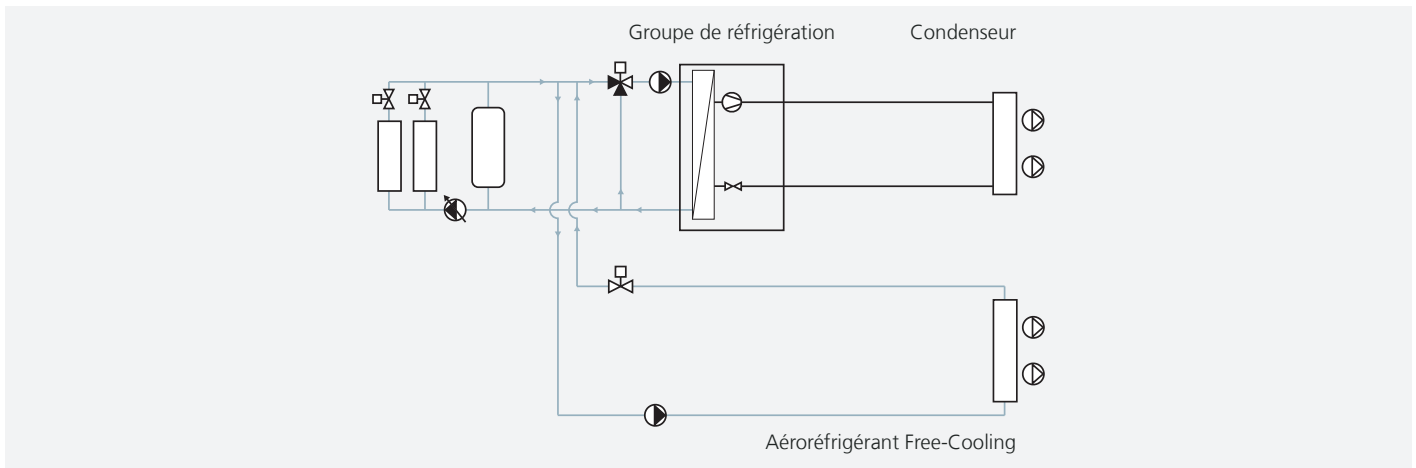
- + plus efficace que la variante 1

Inconvénients

- Intégration plus compliquée
- moins efficace que les variantes 3 et 5
- Pour la protection contre le gel, une eau glycolée doit être prévu en tant que caloporteur dans l'ensemble du système. Ou bien le système doit être équipé d'un échangeur de chaleur de Free-Cooling qui se vide automatiquement en cas de gel.

VARIANTE 5: CONDENSATION DIRECTE AVEC FREE-COOLING VIA UN ÉCHANGEUR DE CHALEUR RACCORDÉ EN SÉRIE

Exploitation: Parallèle bivalent («non seulement..., mais aussi...»)



Généralement utilisé pour les consommateurs utilisant les températures d'eau glacée suivantes:

TEMPÉRATURE DE FLUX CYCLE DE RÉFRIGÉRATION

pour échangeur de chaleur sec	supérieur à 18°C
pour échangeur de chaleur humide	supérieur à 14°C

En mode Free-Cooling, le dispositif de réfrigération peut assister le système.

Avantages

- + La variante la plus efficace (avec la variante 3)
- + Une bonne solution pour les systèmes avec réfrigérants associés à une classe de sécurité avec des exigences plus élevées (réfrigérants naturels)
- + Idéal pour les installations en plein air

Inconvénients

- Intégration plus compliquée
- Pour la protection contre le gel, une eau glycolée doit être prévu en tant que caloporteur dans l'ensemble du système. Ou bien le système doit être équipé d'un échangeur de chaleur de Free-Cooling qui se vide automatiquement en cas de gel.

REMARQUE

Il existe des produits où le condenseur comprend un pack Free-Cooling directement intégré. Ceux-ci ne nécessitent pas de ventilateurs supplémentaires, ce qui les rend moins onéreux et volumineux.

LES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

DANS CETTE CONFIGURATION, LE FREE-COOLING SE JUSTIFIE PLEINEMENT

L'étude ZHAW montre que c'est notamment la température de l'eau glacée du cycle de réfrigération (caloporteur) qui est déterminante, qu'un dispositif de Free-Cooling indirect ou non soit justifié. En outre, les systèmes raccordés en série (variantes 3 et 5 avec échangeurs de chaleur raccordés en série) offrent le plus grand potentiel.

Si des températures de consommateurs (exigence de refroidissement) inférieures à 14°C s'imposent, le potentiel de Free-Cooling s'abaisse de quelques pour cent de l'énergie de refroidissement totale pour la climatisation, et s'avère, dans la plupart des cas, non rentable. Dans le cas des bâtiments administratifs, le Free-Cooling devient rentable à partir d'une température d'eau glacée de 18°C et devrait être envisagé (note: tenir compte de l'humidité ambiante).

À PARTIR DE QUAND LE FREE-COOLING EST-IL «RENTABLE»?

La ZHAW s'est appuyée sur des calculs de rentabilité pour estimer quel doit être le potentiel du Free-Cooling pour qu'un projet se justifie. On distingue ainsi les trois groupes suivants:

- Part supérieure à 40% recommandé
- Part comprise entre 10 et 40% vérifier la rentabilité
- Part inférieure à 10% non recommandé

LE POTENTIEL DU FREE-COOLING CORRESPOND À LA CONTRIBUTION POTENTIELLE DU FREE-COOLING POUR RÉPONDRE AUX BESOINS THERMIQUE DE RAFRAÎCHISSEMENT TOTAL DU BÂTIMENT.

LES 7 POINTS ESSENTIELS DU FREE-COOLING

1. Si le bâtiment a besoin de chauffage et de refroidissement, il faut d'abord utiliser la chaleur du système de climatisation du bâtiment. Une fois ce potentiel utilisé, le Free-Cooling peut dissiper l'excès de chaleur du bâtiment.
2. Pour l'exploitation du Free-Cooling, il convient de clarifier les effets sur l'humidité du local. La ventilation mécanique devra éventuellement être activée pour les installations à déshumidification partielle.
3. Les systèmes d'absorption de chaleur tels que les modules d'activation thermoactifs (TABS) ou les plafonds froids, qui fonctionnent avec des températures de d'eau glacée élevées, sont particulièrement bien adaptés au Free-Cooling.
4. Les échangeurs de chaleur hybrides atteignent des températures de refroidissement basses, ce qui permet d'accroître la contribution du dispositif de Free-Cooling aux besoins globaux de refroidissement.
5. Plus la température régionale est basse (par exemple dans les Alpes), plus le dispositif de Free-Cooling peut contribuer positivement au refroidissement total du bâtiment. A contrario, plus le climat régionale est chaud (par exemple dans le Tessin), plus la contribution du dispositif de Free-Cooling est faible.
6. C'est avec des échangeurs de chaleur Free-Cooling raccordés en série (variantes 3 et 5) que l'on obtient les systèmes les plus performants.
7. Les installations à évaporation directe avec Free-Cooling ne sont pas meilleures en termes énergétiques que les installations qui effectuent du Free-Cooling avec des circuits d'eau.

1. BUREAU ADMINISTRATIF DANS LE PLATEAU SUISSE

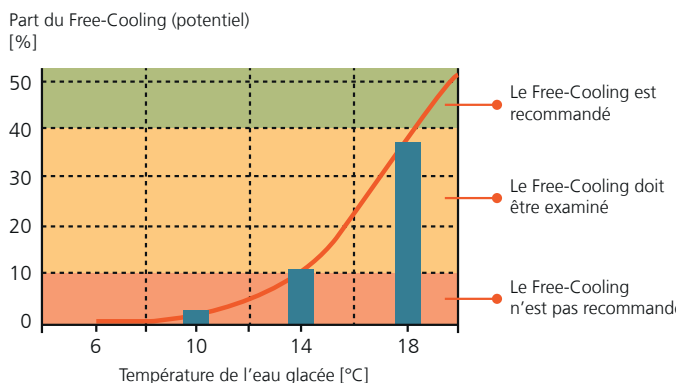


Image: Potentiel de Free-Cooling pour les systèmes de climatisation avec échangeurs de chaleur supplémentaires raccordés en série (**variante 3**). Dans les bâtiments administratifs (climatisation de confort) dans le Plateau suisse pour différentes températures d'eau glacée du cycle de réfrigération.

La part de Free-Cooling dans les grands magasins, les marchés spécialisés et les salles de traitement (hôpitaux, cabinets médicaux) est comparable à celle des bâtiments administratifs, à quelques pour cent près.

2. CENTRE DE CALCUL DANS LE PLATEAU SUISSE

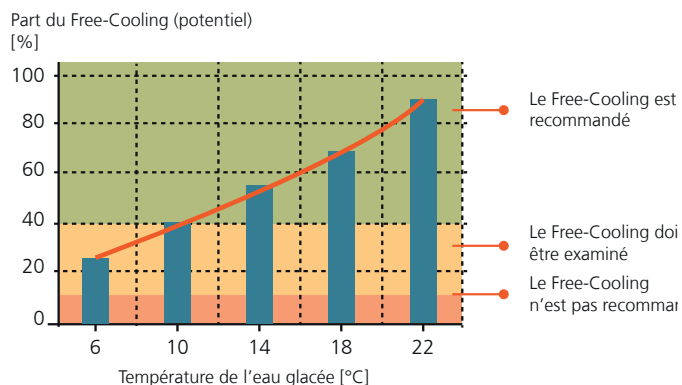


Image: Potentiel de Free-Cooling pour les systèmes de climatisation avec échangeurs de chaleur supplémentaires raccordés en série (**variante 3**) dans un centre de calcul (24h/365 jours) dans le Plateau suisse pour différentes températures d'eau glacée du cycle de réfrigération.

Le potentiel de Free-Cooling dans les centres de calcul est intéressant parce que ces derniers doivent être refroidis tout au long de l'année.

CHOIX DE L'AÉROREFRIGÉRANT

Le choix de l'aéroréfrigérant a un fort impact sur les températures. Les aéroréfrigérants hybrides (humectés, pulvérisés, humidifiés) ont l'avantage d'atteindre des températures d'utilisation d'eau glacée 3 à 4°C inférieure par rapport aux aérorefroidisseurs sec. Cela rend le système plus performant et permet d'obtenir des températures d'eau glacée plus basses. L'inconvénient des systèmes hybrides est le niveau élevé des coûts d'investissement, de maintenance et d'exploitation.

D'AILLEURS...

FREE-COOLING OU INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE (PV)?

Pour les bâtiments avec un petit potentiel de Free-Cooling, la question se pose de savoir si un système photovoltaïque ne sera pas préférable à une installation supplémentaire de Free-Cooling (échangeurs de chaleur, tuyauterie, raccords et système de pilotage). Fondamentalement, les systèmes photovoltaïques et de climatisation se complètent très bien.

Les deux systèmes atteignent leurs performances maximales en été, la climatisation présente la plus grande consommation d'énergie au cours de ces mois estivaux, tandis que c'est dans cette période que le système photovoltaïque va générer le plus d'électricité. Du point de vue de la consommation énergétique totale du bâtiment tout au long de l'année, une telle solution présente souvent, pour des coûts d'investissement comparables, un meilleur équilibre global qu'une installation supplémentaire de Free-Cooling.

SOURCES

- **Free Cooling in der Klimakälte**
Rohrer, König, Tillenkamp ZHAW,
2018 www.effizientekaelte.ch
(étude réalisée pour le compte de l'OFEN)
- **Klimakälte heute**
Brunner, Kriegers, Prochaska,
Tillenkamp
Faktor-Verlag 2019