

Condenseurs de groupes froids

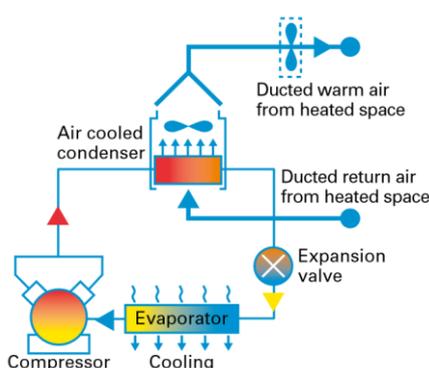


Fiche technique

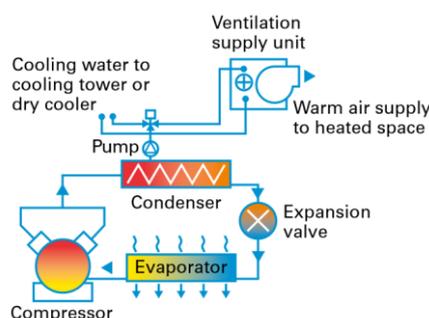
Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie



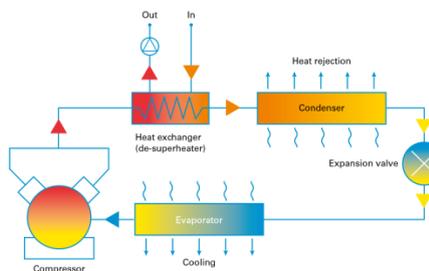
Description de la technologie



Echangeur air-air sur condenseur de groupe froid [3]



Echangeur air-eau sur condenseur de groupe froid [3]



Echangeur sur désurchauffeur [3]

Les groupes froids, ou groupes frigorifiques, sont des machines thermodynamiques permettant de produire du froid en retirant de l'énergie à une source « chaude » au niveau d'un condenseur, suivant un cycle de Carnot. Un fluide de travail passe dans un évaporateur dans lequel il est mis en contact avec le fluide de la source chaude (gaz ou liquide), auquel il retire de la chaleur, produisant ainsi du froid. Puis ce fluide de travail est comprimé dans un compresseur avant de libérer de l'énergie par condensation dans un condenseur.

Le condenseur des groupes froids représente ainsi une source de chaleur fatale devant être évacuée. Cette chaleur habituellement perdue, peut être récupérée sous forme d'eau chaude entre 30°C et 45°C grâce à une boucle d'eau équipée d'une station de pompage et d'un échangeur.

En amont du condenseur, de l'énergie peut aussi être récupérée par l'intermédiaire d'un désurchauffeur. En effet, les cycles de groupes froids n'étant pas parfaits, le fluide de travail sort du compresseur à une pression et température plus élevées que sa pression et température de changement de phase. Il doit être dans un premier temps désurchauffé pour arriver à son point de changement d'état, ce qui libère de la chaleur sensible. Il pourra ensuite passer de l'état gazeux à l'état liquide dans le condenseur, libérant ainsi de la chaleur latente.

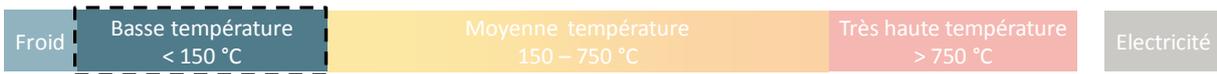
En résumé, sur les groupes froids, il est possible de récupérer de la chaleur fatale au niveau :

- Du condenseur : chaleur sensible, beaucoup d'énergie mais à la température de changement de phase du fluide de travail (20 à 40°C) [2]
- D'un désurchauffeur : chaleur latente, peu d'énergie mais à plus haute température (souvent de 60°C à 90°C, 110°C maximum) [2] [3]

En fonction de la température de l'eau en sortie d'échangeur, celle-ci peut être utilisée pour des besoins internes du groupe froid (dégivrage des évaporateurs), pour de l'alimentation en eau chaude sanitaire, pour du chauffage, ou de l'eau chaude alimentant d'autres procédés.

Un ballon de stockage peut être ajouté lorsque les besoins en chaleur et la production de froid ne coïncident pas. Une Pompe à chaleur (PAC) ou un second étage de compression peuvent être utilisés pour rehausser la température de l'eau récupérée (voir encarts dédiés).

Usages



L'usage le plus simple de cette énergie récupérée est le chauffage de locaux via un échangeur air-air sur le condenseur. La chaleur récupérée peut aussi être utilisée pour produire de l'eau chaude, entre 20°C et 40°C avec un échangeur sur condenseur, et entre 60°C et 90°C avec un échangeur sur désurchauffeur.

Secteurs d'utilisation par vecteur énergétique

Flux de fluides	Agroalimentaire Equipement et assemblage (traitements thermiques) Industrie chimique et pharmaceutique Industrie du papier et du carton Métallurgie Raffinage Textile Travail du bois Tous secteurs (ECS, chauffage)
-----------------	--

Illustration d'utilisation de la source de chaleur fatale dans les retours d'expérience

- [Fromagerie Cavet, Solaire thermique et récupération de chaleur sur groupes frigorifiques pour chauffage d'eau pour procédé d'affinage.](#)

Coûts

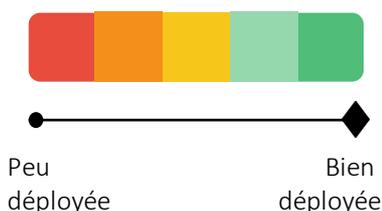
Poste de coût	Coût unitaire moyen observé
Echangeur sur condenseur	35 EUR/kW
Echangeur sur désurchauffeur	190 – 380 EUR/kW
Ballon de stockage d'eau chaude	2,7 EUR/L
Électricité et automatismes	46 EUR/kW _{total}
Distribution de chaleur	100 EUR/m _{linéaire}

La récupération de chaleur sur condenseurs de groupes froids s'accompagne très souvent d'une récupération sur désurchauffeur et peut concerner plus d'un groupe froid. Le coût total du projet dépend donc du nombre d'échangeurs sur condenseurs et sur désurchauffeurs. A cela s'ajoute le coût éventuel du stockage d'énergie, de la distribution de chaleur, et des équipements électriques et des automatismes.

Les typologies de projets de récupération sur condenseurs de groupes froids étant très diverses, les coûts sont plutôt détaillés par poste de dépense. Le tableau ci-contre a été construit à partir des données de coûts par poste d'un retour d'expérience choisi comme un cas moyen.

Les coûts moyens observés pour un projet typique de récupération de chaleur sur condenseur et désurchauffeur de groupes froids sont présentés ci-contre. Selon la distance des tuyauteries de distribution de la chaleur et la nécessité d'ajouter une solution de stockage, les temps de retour sur investissement des projets de ce type sont autour de 2 à 4 ans.

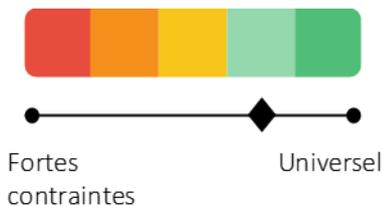
Diffusion de la technologie



Cette technologie existe depuis plus de 20 ans et rencontre de plus en plus de succès. [4]

La plupart des projets concernent la production centralisée de froid et donc la récupération de chaleur sur plusieurs groupes froids (condenseur et désurchauffeur) avec un réseau de distribution et une solution de stockage.

Contraintes d'intégration sur site



Fortes contraintes

Universel

L'installation des échangeurs est plutôt simple, mais l'intégration complète aux usages finaux peut nécessiter l'installation d'une disposition plus compliquée des tuyauteries et/ou des réservoirs-tampons pour l'eau chaude sanitaire ou de chauffage. [3]

Ceci peut nécessiter des modifications du site industriel pour libérer la place nécessaire.

Contraintes d'opération et de maintenance



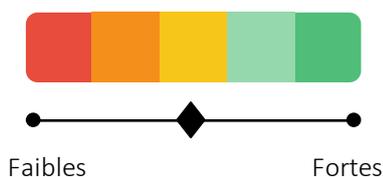
Complexes

Aisées

La maintenance d'un groupe frigorifique nécessite de dégivrer régulièrement l'évaporateur et les échangeurs du système. Cette opération peut être simplifiée en utilisant la chaleur prélevée dans le condenseur directement pour le dégivrage.

L'ajout d'échangeurs sur le condenseur et/ou le désurchauffeur a l'avantage de réduire le bruit des ventilateurs et la chaleur dégagée par rapport à un refroidissement effectué à l'air ambiant. [2]

Disponibilité et accessibilité de la ressource



Faibles

Fortes

Ce type d'installation peut être utilisé uniquement sur les sites industriels possédant à la fois un ou des groupes froids, et un besoin significatif d'eau chaude (préchauffage d'une chaudière vapeur, eau de lavage, ou autres) [2].

La source de chaleur fatale peut cependant être difficilement utilisable si elle est située trop loin de l'usage que l'on veut en faire ou si sa production est décalée dans le temps avec l'usage. Dans ces cas, pour rendre la ressource accessible, une stratégie de distribution et/ou de stockage de chaleur peut s'avérer nécessaire, et générer une complexité technique et économique.

Performance environnementale



Faible

Elevée

Par convention, l'ADEME considère un contenu CO₂ de 0 gCO₂/kWh pour les énergies de récupération quelle que soit leur origine. Le gain environnemental en tonnes de CO₂ évitées sera donc proportionnel à la quantité d'énergie fossile économisée et à son empreinte carbone. Par exemple, des économies de consommation de gaz naturel permettront d'éviter 243 kgCO₂/kWh PCI. [4]

Mécanismes de soutien



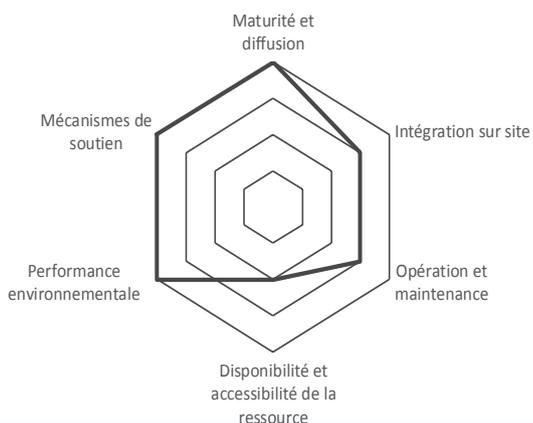
Frein

Levier

L'ADEME accompagne les [projets de récupération de chaleur fatale](#) à travers le [Fonds Chaleur](#), en finançant des équipements de captage, stockage, transport et distribution de chaleur dans un site industriel, du moment où l'opération ne peut pas être couverte par les Certificats d'économie d'énergie (CEE) via une fiche d'opération standardisée. Par contre, les installations de récupération et revalorisation sur un seul et même équipement ne sont pas éligibles. [8]

La récupération de chaleur sur un groupe de production de froid fait l'objet d'une opération standardisée du dispositif CEE via la fiche IND-UT-17. [6]

D'une manière générale, les opérations de récupération d'énergie peuvent aussi bénéficier de dispositifs financiers comme les prêts de la Banque publique d'investissement (BPI), et/ou d'un amortissement dégressif ou exceptionnel des équipements. [7] [8]



La récupération de chaleur sur condenseur et désurchauffeur de groupes froids est une technologie mature, bien soutenue par la réglementation, facile à intégrer et à opérer. En substitution à l'utilisation d'énergies fossiles, elle permet aussi une réduction importante des émissions de gaz à effet de serre.

Sources

- [1] Récupération de chaleur fatale industrielle des économies d'énergie à la clé, CETIAT, www.recuperation-chaaleur.fr
- [2] How to implement heat recovery in refrigeration, Carbon Trust
- [3] Heat Recovery – A guide to key systems and applications, Carbon Trust, 2011
- [4] Base Carbone, ADEME, 2017
- [5] *Chaleur fatale industrielle*, ADEME, 2015
- [6] Catalogue complet opérations standardisées (Arr 25), Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017
- [7] *Amortissement dégressif ou exceptionnel des matériels destinés à économiser l'énergie et des équipements de production d'énergies renouvelables*, Code Général des Impôts, Livre premier, Première partie, Titre premier, Chapitre premier, Section I, Article 2.
- [8] Prêt vert, bpifrance.fr, web, [lien](#), 2017

Ajout d'une PAC sur les condenseurs de groupes froids

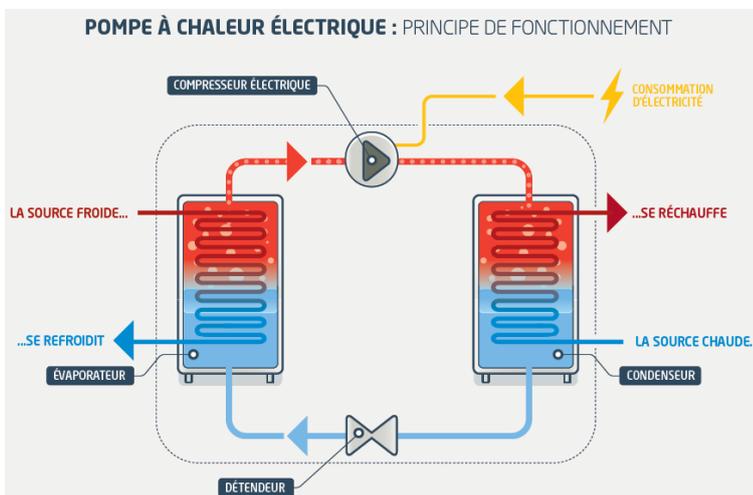


Figure – Principe de fonctionnement d'une PAC

Les pompes à chaleur (PAC) captent la chaleur d'un milieu basse température (air, eau ou sol) pour la transférer à un milieu à plus haute température (air, eau ou sol) grâce à un fluide frigorigène subissant un cycle thermodynamique. Bien que majoritairement utilisées en tant qu'appareils de chauffage, les PAC permettent également de refroidir le milieu d'où la chaleur est extraite (climatisation). [1]

Il existe plusieurs technologies de PAC, fonctions de la source d'énergie, de la nature des milieux émetteurs et récepteurs de calories (PAC air-air, air-eau, géothermique) et de la réversibilité du cycle. Les technologies les plus

répandues sont les PAC électriques où le cycle thermodynamique est induit par un compresseur alimenté électriquement. Les autres technologies développées sont les PAC à absorption et les PAC à moteur fonctionnant au gaz. [1]

On définit généralement l'efficacité des PAC par leur COP (coefficient de performance), traduisant la chaleur fournie en énergie finale par rapport au travail mécanique absorbé (consommation électrique ou gaz du compresseur).

Le fluide circulant dans les échangeurs sur condenseurs de groupes froids, bien qu'offrant de grandes quantités d'énergie, présente des températures très faibles, de l'ordre de 40 à 45°C, voire 30°C dans certains

cas. L'ajout d'une pompe à chaleur usuelle peut alors permettre de rehausser cette température pour atteindre 60 à 65°C, et les pompes à chaleur Haute Température récentes permettent d'atteindre jusqu'à 90°C.

Une technologie mature et efficace

La pompe à chaleur est une technologie mature et éprouvée dans de nombreux secteurs. Les nouvelles générations de PAC, actuellement au stade de R&D, permettront de rehausser des niveaux de température jusqu'à 120°C (PAC Très Haute Température) avec des capacités allant de quelques centaines de W à quelques MW. [2][3]

Les PAC permettent de valoriser des sources d'énergie fatale de différentes natures (liquides ou gazeuses) à de faibles températures. Elles ont aussi l'avantage de présenter une empreinte au sol faible et de nécessiter peu de modifications à l'installation existante, surtout dans le cas d'une récupération sur un système de refroidissement. [3]

Le coefficient de performance des PAC est élevé, autour de 3 pour les PAC air-air, 4 pour les PAC géothermiques et plus de 5 pour les PAC eau-eau. [50] Cependant, ce coefficient de performance baisse lorsque la différence de température augmente.

L'installation de pompes à chaleur pour remonter la température de récupération de chaleur fatale est soutenue par le Fonds Chaleur de l'ADEME, soit en gré à gré, soit par appels à projets, via les Directions Régionales. [5]

Une technologie à faible impact environnemental

Les PAC bénéficient d'un double gain environnemental : consommation énergétique faible et fonctionnement à l'électricité. Leur COP supérieur à 1 réduit de façon proportionnelle leur consommation énergétique et donc leur empreinte carbone. Fonctionnant à l'électricité, leur empreinte carbone est entre 3 et 5 fois plus faible que l'empreinte carbone de l'électricité en France, qui est bien plus faible que l'empreinte carbone des énergies fossiles.

En revanche, la majorité des fluides frigorigènes ayant un effet sur le réchauffement climatique, les PAC à fluide frigorigène ont un impact plus élevé sur l'environnement. [1]

Ajout d'un étage de compression sur les condenseurs de groupes froids

Il est aussi possible de rehausser la température en sortie de l'eau circulant dans les condenseurs de groupes froids grâce à l'ajout d'un étage de compression à l'intérieur du système frigorifique, avant le condenseur. Le fluide de travail ainsi surcomprimé est par conséquent surchauffé, et condense à une température plus élevée. Cette surcompression permet alors de récupérer plus de chaleur au niveau du condenseur et donc une eau directement à plus de 60°C.

Cette technique offre des performances énergétiques très élevées, avec des Coefficients de Performance (COP) meilleurs que ceux des PACs classiques ajoutées sur le condenseur. [1]

[1] *Les moyens de production d'énergie électriques et thermiques*, ENEA pour ADEME et Région Bretagne, 2014

[2] *Technologies de récupération de chaleur*, CETIAT – EDF – UNGDA, 2015

[3] *Etat de l'art : valorisation des énergies fatales industrielles, chaleur basse température*, énergie 2020, 2016

[4] *Procédés de récupération et valorisation des énergies à bas niveau de température*, RECORD, 2012

[5] *Chaleur fatale industrielle*, ADEME, 2015

Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie

Fiche technique

Condenseurs de groupes froids

Cette fiche décrit la technologie des condenseurs de groupes froids en identifiant les forces et faiblesses de cette technologie pour son intégration dans l'industrie : coûts de production de l'énergie, niveau de maturité et de diffusion, facilité d'intégration sur site, contraintes d'opérations et de maintenance, empreinte carbone.

Cette fiche permet de caractériser la technologie afin d'identifier les avantages qu'elle apporte, mais aussi les freins et difficultés à surmonter.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.



www.ademe.fr



010723 - F5