



Pompe à chaleur Johnson Control Industries 120°C au R245fa EDF R&D Les Renardières.

Les rejets thermiques industriels ne sont pas une fatalité

En France, un tiers de l'énergie consommée par l'industrie est rejeté dans l'environnement, soit sous forme gazeuse, soit sous forme liquide. Des dispositifs de récupération de chaleur alimentés par ces rejets peuvent être envisagés. Cependant, bien souvent, une valorisation directe par un simple échangeur est impossible car le niveau thermique de ces effluents n'est pas suffisant. La pompe à chaleur est alors une technologie incontournable pour la valorisation de ces rejets. En effet, l'installation d'une pompe à chaleur permet de valoriser la chaleur contenue dans les effluents en la transférant à un réseau de chaleur (eau chaude ou vapeur basse pression) directement utilisable par le process ou par un site voisin.

Ces pompes à chaleur industrielles peuvent également être utilisées pour réduire les consommations énergétiques des réseaux de chaleur. En effet elles permettent de valoriser des calories issues de condenseurs de groupes de production de froid, de sources géothermiques à basses températures, ou encore d'eaux usées ...

La pompe à chaleur (PAC) industrielle

UNE TECHNOLOGIE PARTICULIEREMENT PERFORMANTE POUR L'EFFICACITE ENERGETIQUE DE L'INDUSTRIE ET DES RESEAUX DE CHALEUR

La consommation énergétique de l'industrie française s'élève à environ 450 TWh/an dont 300 TWh pour la production de chaleur. Les études réalisées par la R&D d'EDF montrent que les pompes à chaleur industrielles pourraient permettre de réduire les rejets thermiques industriels de façon drastique. Ces rejets, valorisés thermiquement par des pompes à chaleur, permettraient alors de satisfaire 36 TWh des besoins de chaleur du process industriel (soit 12%). La consommation d'énergie électrique des pompes à chaleur dépend principalement de l'écart de température entre le rejet, sur lequel l'énergie est puisée, et le besoin de chaleur. En moyenne, on peut observer des écarts voisins de 40°C, ce qui correspond à des consommations de l'ordre d'1 kWh électrique pour 4 kWh d'énergie thermique fournie au process. Dans ces conditions, l'implantation de pompes à chaleur se traduirait par la substitution de 36 TWh/an d'énergie fossile par 9 TWh/an d'électricité.



Un impact significatif sur les émissions de CO₂

L'énergie consommée par la pompe à chaleur est de l'électricité, énergie beaucoup moins émettrice de CO₂ que les énergies fossiles utilisées avant l'installation de la pompe à chaleur. Ceci, cumulé à la réduction de la consommation d'énergie finale, se traduit par une diminution des émissions de CO₂ de l'ordre de 6 millions de tonnes par an.

Jean-Louis PEUREUX, chercheur expert, EDF R&D.

Des PAC au service de la valorisation des rejets industriels

Principes de fonctionnement

Lorsqu'on met en contact deux systèmes thermodynamiques, il se produit, naturellement, un transfert d'énergie thermique du système le plus chaud vers le système le plus froid.

Une pompe à chaleur est un dispositif qui, moyennant la consommation d'une faible quantité d'énergie, permet le transfert d'énergie thermique du système le plus froid vers le système le plus chaud. Parmi les différents dispositifs applicables, on peut citer :

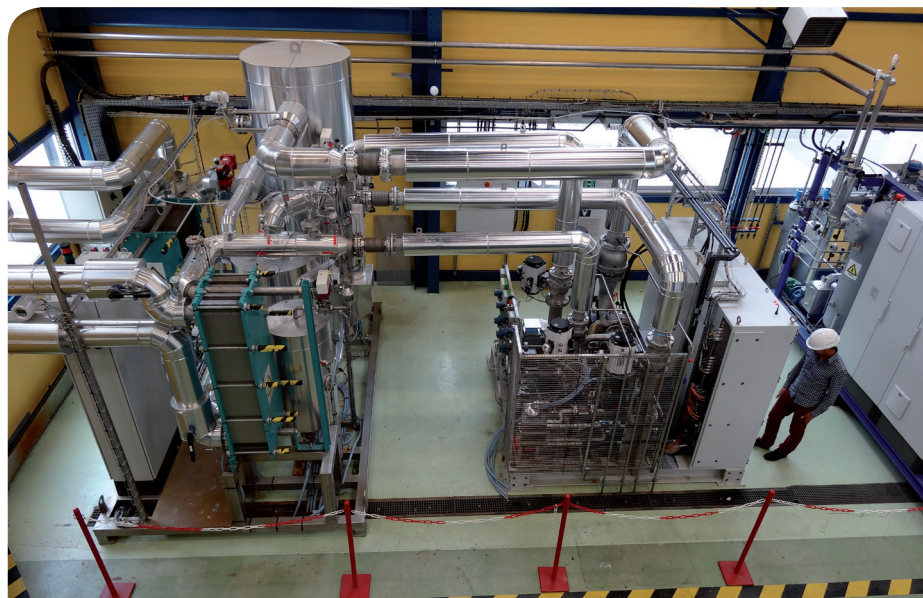
- La machine à compression de vapeur.
- Les PAC à absorption de gaz.
- La PAC à effet Peltier.
- La PAC à compression de gaz.
- La PAC thermoacoustique.
- La PAC thermomagnétique.

La pompe à chaleur à compression de vapeur est, de très loin, la plus répandue. Dans ce cas, l'apport d'énergie nécessaire à son fonctionnement se traduit par la consommation électrique du moteur qui entraîne le compresseur de vapeur.

La pompe à chaleur se compose de quatre éléments principaux :

un évaporateur, un compresseur, un condenseur et un organe de détente. Ces différents éléments sont connectés entre eux par un circuit fermé contenant un fluide appelé « fluide de travail ». Le changement d'état de ce fluide, entre les phases liquide et vapeur, est utilisé pour assurer les transferts d'énergie entre les sources externes et la pompe à chaleur.

Dans un premier temps, le fluide de travail traverse l'évaporateur, placé à la source froide. La pression qui y règne (la basse pression) est telle que le fluide de travail s'évapore en prélevant l'énergie nécessaire. Les vapeurs obtenues sont ensuite comprimées et dirigées vers le condenseur placé à la source chaude. La pression au condenseur (la haute pression) est telle que le fluide de travail se condense en fournissant l'énergie nécessaire. Le fluide de travail passe ensuite au travers de l'organe de détente pour rejoindre à nouveau l'évaporateur. La pompe à chaleur est caractérisée par son coefficient de performance (COP_{chaud}). Le COP_{chaud} est défini comme le rapport entre l'énergie thermique fournie à la source chaude et l'énergie électrique fournie au compresseur.



Pilote pompe à chaleur à eau

REPÈRES

Le développement des pompes à chaleur s'appuie sur deux piliers de 1824 et 1835.

1824 : ouvrage de Sadi Carnot sur les machines thermiques.

1835 : brevet déposé par Jacob Perkins sur une machine à cycle thermodynamique à compression de vapeur.

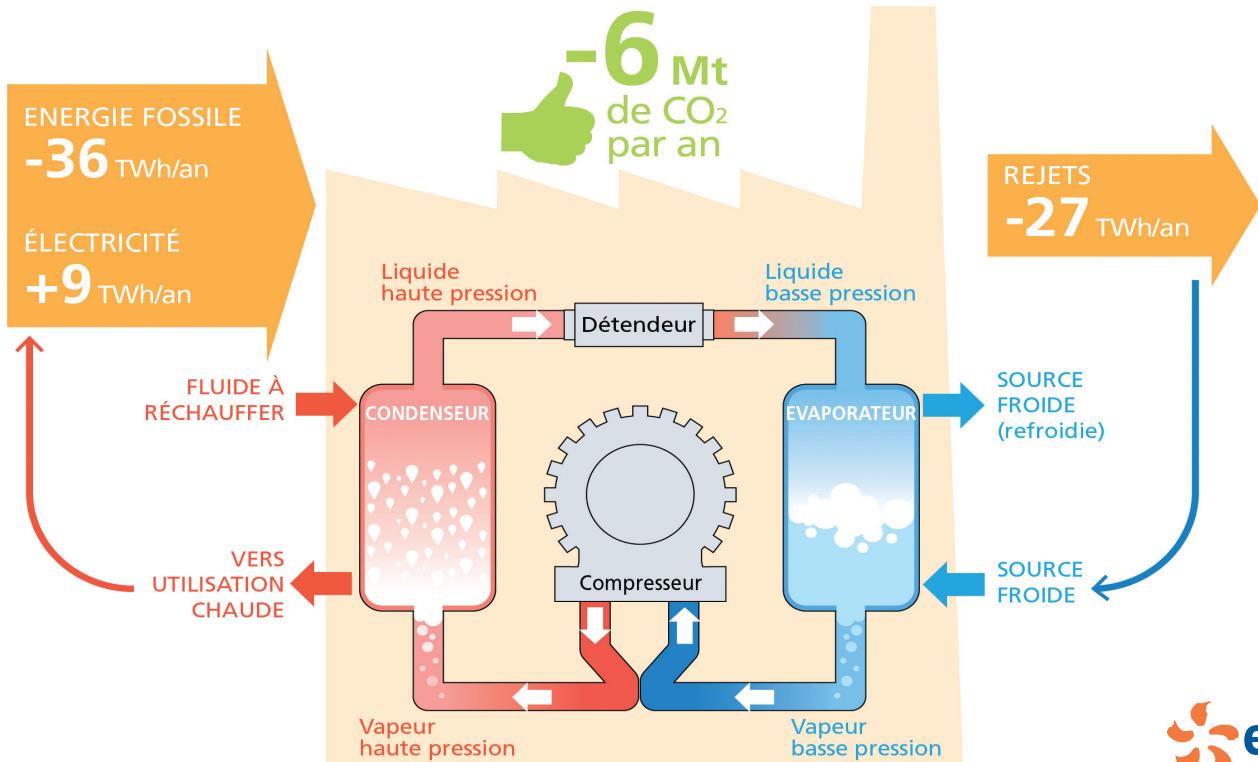
1852 : l'utilisation des machines thermodynamiques pour la production de chaleur est évoquée pour la première fois par Lord Kelvin devant la société Philosophique de Glasgow en 1852.

1931 : première pompe à chaleur installée aux Etats Unis dans un immeuble de la South California Edison Compagny, à Los Angeles.

1936 : installation de la première pompe à chaleur européenne dans l'Hôtel de ville de Zurich (toujours en activité).

2015 : 500 millions de pompes à chaleur dans les secteurs résidentiel, tertiaire et industriel dans le monde. Taux de croissance annuel du marché de 10% (source : Institut International du froid).

POTENTIEL DE VALORISATION DES REJETS INDUSTRIELS PAR POMPE A CHALEUR



LE SAVIEZ-VOUS ?

Le réseau de chaleur de Roquebrune (près de Nice) se caractérise par son système de récupération de la chaleur dans les eaux de la station d'épuration de la commune. L'eau, légèrement tiède, est récupérée par des échangeurs. Elle est ensuite convertie, grâce à des pompes à chaleur, en eau de chauffage (45°C) ainsi qu'en eau chaude sanitaire (65°C) pour le chauffage de 7 bâtiments basse consommation. Ce système permet de produire 4 kWh de chaud pour seulement 1 kWh d'énergie électrique consommé pour la valorisation des calories prélevées.

Le fonctionnement des pompes à chaleur utilisées pour la valorisation des rejets thermiques industriels diffère de celui des pompes à chaleur utilisées pour le chauffage de locaux dans le secteur résidentiel sur plusieurs aspects. Tout d'abord, la source froide sur laquelle on prélève l'énergie « gratuite » se présente avec une température bien plus élevée que dans les applications résidentielles. Il s'agit de rejets thermiques dont les températures sont, le plus souvent, constantes au cours de l'année et s'échelonnent entre 30 et 90°C. Ceci se traduit par une température d'évaporation élevée et stable dans le temps. Dans la pratique, pour obtenir de bonnes performances énergétiques, typiquement un COP annuel quasi-constant compris entre 4 et 6, on limitera l'utilisation des PAC aux applications pour lesquelles la température des besoins thermiques n'excède pas celle des rejets de plus de 50°C. Compte tenu des coûts actuels des énergies, ces conditions permettent le plus souvent d'assurer une rentabilité économique de l'installation acceptable par les industriels. Les hautes performances énergétiques se traduisent par de fortes économies d'exploitation. Cependant, les investissements sont relativement

plus lourds que pour le résidentiel car il s'agit, le plus souvent, d'installations sur mesure. Les exigences en matière de rentabilité des investissements sont beaucoup plus contraignantes dans le secteur industriel que dans le secteur résidentiel. Par ailleurs, les PAC industrielles venant en substitution partielle d'une chaudière, le retour à la situation antérieure est possible à tout moment. Leur fonctionnement quasi-constant se traduit ainsi par une consommation d'électricité de base, effaçable. Cet aspect est particulièrement intéressant pour la gestion du réseau de distribution.

La bonne PAC au bon endroit

Les nombreux audits effectués par EDF montrent que, sur la plupart des sites industriels, il est possible de valoriser des rejets thermiques à l'aide d'une pompe à chaleur pour satisfaire des besoins de chaleur sur le site de production de ces rejets. En revanche, une analyse énergétique du site et de ses différents procédés est nécessaire pour être en mesure de mettre « la bonne PAC » au « bon endroit ».

Perspectives

La plupart des besoins de chaleur industrielle se situe entre 80 et 140°C. On constate que les besoins thermiques de l'industrie jusqu'à 140°C sont 5 fois plus importants que ceux limités à 80°C.

Lorsque la R&D d'EDF démarre cette activité en 2009, l'offre commerciale de PAC industrielles ne permet pas d'accéder à des températures supérieures à 80°C.

EDF a donc décidé d'initier un programme de développement de PAC afin d'être en mesure de satisfaire les besoins thermiques de l'industrie jusqu'à 140°C.

Un premier partenariat avec la société Johnson Controls Industries a permis de porter l'offre commerciale des PAC haute température à 100°C. Le fluide de travail utilisé pour ces PAC est le R245fa. Afin de couvrir toute la gamme de puissance nécessaire, deux technologies ont été développées, l'une équipée d'un compresseur à double vis, l'autre équipée d'un compresseur centrifuge à paliers magnétiques.

Un second projet subventionné par l'Agence Nationale de la Recherche a permis de développer une PAC utilisant de l'eau comme fluide de travail, capable de fonctionner jusqu'à 140°C. Cette PAC a été développée avec un compresseur à double vis pour les moyennes puissances et avec

un compresseur centrifuge pour les plus fortes puissances.

En 2014, cette PAC a montré un bon fonctionnement au laboratoire de la R&D d'EDF. La première démonstration industrielle est prévue pour 2016.

A ce jour, grâce aux PAC haute température, il est possible de valoriser des rejets thermiques en les transformant en eau chaude de process. Demain, grâce aux PAC très haute température, il sera possible de valoriser des rejets thermiques en les transformant en vapeur basse pression pour le process. D'un point de vue économique, on peut noter que, grâce au COP, plus le coût de l'énergie augmente, meilleure est la rentabilité de la PAC. Ces deux éléments cumulés devraient se traduire par une augmentation importante des implantations de PAC industrielles dans les années à venir.

Cependant, l'intérêt économique de cette solution sera toujours limité par deux paramètres :

- La distance entre le lieu de collecte de l'effluent constituant la source froide de la PAC et le besoin thermique à satisfaire.
- La possibilité de trouver un rejet à une température pas trop éloignée du besoin (écart de 40 à 50°C).

Lexique

Watt (W) : unité internationale de puissance. Correspond à la quantité d'énergie consommée ou produite par unité de temps (un joule par seconde). La puissance correspond à un débit d'énergie.

kWh : un kiloWattheure vaut 3,6 mégajoules (MJ) et correspond à la consommation d'un appareil électrique de mille watts pendant un heure.

TWh : TéraWattheure vaut 1 milliard de kWh.

Système thermodynamique : on appelle système thermodynamique, une portion de l'univers que l'on isole par la pensée du reste de l'univers que l'on baptise alors milieu extérieur.

Source froide : dans le cas des pompes à chaleur, on appelle source froide le milieu où l'on prélève de l'énergie.

Source chaude : dans le cas des pompes à chaleur, on appelle source chaude le milieu où l'on fournit de l'énergie.

COP : Coefficient Of Performance, il est défini par le rapport entre l'énergie thermique fournie à la source chaude et l'énergie électrique fournie au compresseur.

> pour en savoir plus

Heat Pump Center : www.heatpumpcentre.org/

Agence Internationale de l'Energie : www.iea.org/

ADEME : www.ademe.fr/

N'imprimez que si vous en avez l'utilité.

EDF
22-30 avenue de Wagram 75382 Paris Cedex 08
FRANCE

SA au capital de 930 004 234 euros - 552 081 317 R.C.S. Paris

www.edf.fr

Publication EDF R&D - 1 av Général de Gaulle 92141 Clamart Cedex
Directeur de la publication : Jean-Paul CHABARD
Secrétaire de rédaction : Florence METGE-LAYMAJOUX
Le contenu de cette publication n'engage que son auteur et en aucune manière la responsabilité d'EDF.

© 2015 EDF

Toute reproduction interdite sans l'autorisation de l'auteur.
Crédits photos : EDF - Jean-Louis PEUREUX, IDE - Robin SARIAN

Le groupe EDF est certifié ISO 14001

Contact :

communication-rd@edf.fr
<http://chercheurs.edf.com>