

L'avenir des pompes à chaleur

Pour fournir de la chaleur à basse et moyenne températures dans l'industrie, des pompes à chaleur innovantes aideront à tenir les objectifs imposés par la transition énergétique.

LES AUTEURS

AKIM RIDA ET
JEAN-YVES DRUILLENNEC,
ENGIE

En 2019, le gouvernement a promu le dispositif « Coup de Pouce Chauffage ». Il s'agissait d'aider financièrement les ménages à remplacer leur ancien équipement de chauffage par un matériel plus performant, et notamment des pompes à chaleur. Qu'en est-il des entreprises ?

Elles ont aussi pris la mesure des problématiques environnementales, et cherchent à réduire leur empreinte carbone. Cela passe entre autres par la décarbonation de la chaleur industrielle. L'enjeu est significatif, car à l'échelle mondiale, 32 % de l'énergie finale (celle consommée concrètement par les utilisateurs) est captée par l'industrie, les trois quarts répondant à des besoins de chaleur. Et la moitié de ces derniers correspond à des basses (moins de 100 °C) et moyennes températures (moins de 400 °C). Il y a donc là un levier important sur lequel jouer pour décarboner le monde industriel.

Deux des pistes essentielles sont l'amélioration de l'efficacité énergétique et la biomasse solide (bois, déchets verts, résidus agricoles...) avec notamment le verdissement des réseaux de gaz naturel. D'autres sont attentivement étudiées, liées notamment aux symbioses industrielles (les déchets ou les sous-produits d'un processus industriel deviennent les matières premières d'un autre) ou à des procédés innovants.

Au-delà, beaucoup de scénarios envisagent le déploiement de chaudières électriques ou hybrides et surtout, avec un meilleur rendement espéré, des pompes à chaleur (PAC) à l'instar de ce qui se passe chez les particuliers. Cependant, de tels dispositifs restent à développer pour des températures comprises entre 120 et 200 °C. Les travaux sont en cours !

LES PAC AUJOURD'HUI

Rappelons que la pompe à chaleur est un dispositif qui permet d'effectuer un transfert de chaleur d'une source telle que l'air, le sol, l'eau souterraine ou, très souvent dans l'industrie, un rejet de chaleur qui aurait été autrement perdu (chaleur fatale), vers un utilisateur, par exemple pour alimenter un procédé industriel.

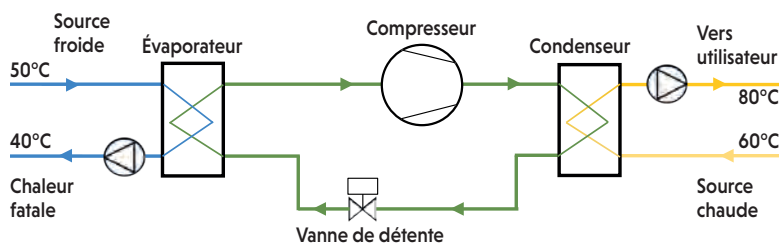
Ce dispositif fait subir un cycle de transformations à un fluide de travail ou réfrigérant : il absorbe de la chaleur dans un évaporateur, chauffe dans un compresseur et libère de la chaleur dans un condenseur. Le tout est complété par un appareil de détente.

Le coefficient de performance (COP) rend compte de l'efficacité du pompage. Il correspond au rapport de la chaleur fournie par la PAC sur l'énergie consommée, souvent l'électricité, par le compresseur.

Dans les PAC commercialement disponibles, les cycles contiennent en général soit un compresseur mécanique de vapeur soit un système à absorption. Dans ce dernier, une vapeur est dissoute dans une solution, celle-ci étant ensuite pompée à une pression plus élevée où un corps volatil est séparé par évaporation (désorption). L'énergie consommée par la pompe est beaucoup plus faible qu'avec un compresseur, mais il faut fournir une chaleur de bonne qualité au désorbeur. Des PAC dites « hybrides » combinent la compression de vapeur et l'absorption.

Dans la famille des PAC à compression mécanique ou hybride, plusieurs solutions technologiques émergent et sont désormais capables de fournir de la chaleur à plus de 110 °C. En particulier, la PAC Thermeco2 de Engie fonctionne avec une source de chaleur comprise entre 8 et 40 °C pour élever la température d'un fluide jusqu'à 110 °C. Elle utilise le CO₂ comme fluide de travail qui a l'avantage d'être non toxique, non inflammable, pas cher, sans impact sur la couche d'ozone et avec un potentiel de réchauffement climatique

ANATOMIE D'UNE POMPE À CHALEUR



Une pompe à chaleur (PAC) transfère de l'énergie thermique d'un milieu à basse température (en bleu) vers un milieu à haute température (en jaune).



© ENGIE

Début 2018, la pompe à chaleur hybride Green PAC a été installée à la Compagnie des Fromages & RichesMonts à Vire (14). En exploitant la chaleur fatale rejetée par les installations de production de froid, elle fournit annuellement sept gigawattheures d'eau chaude à 85 °C pour les besoins de nettoyage, de stérilisation et production. Les émissions de CO₂ liées à la production de chaleur ont radicalement chuté de 90 %.

peut être chauffée jusqu'à 120 °C pour une pression du fluide de travail réduite à 25 bars, là où une PAC utilisant de l'ammoniac pur serait limitée à 50 °C. Au point de fonctionnement de 40/100 °C, le COP est de 4,5.

Produire et distribuer de la chaleur sous forme d'eau chaude là où on utilise souvent de la vapeur est un vrai frein au déploiement parce qu'une modification significative des procédés utilisateurs est nécessaire, notamment l'installation d'un nouvel échangeur de chaleur. Des PAC autorisant la production de vapeur entre 150 et 200 °C ouvriraient de nombreuses opportunités. Les développements actuels des PAC visent à améliorer le COP et à augmenter le niveau de température à 200 °C. Le manque de réfrigérants avec un faible impact environnemental est la principale barrière.

“ La décarbonation de la chaleur basse et moyenne températures dans l'industrie est à la croisée des chemins ”

comparativement très faible par rapport à la plupart des réfrigérants utilisés aujourd'hui. Le cycle, dit « transcritique », est original, car il se déroule en partie en phase supercritique : en sortie de compresseur, le fluide de travail est à une pression supérieure à sa pression critique, point au-delà duquel, pratiquement, le CO₂ peut être refroidi, mais ne se condense pas. Le condenseur classique est donc remplacé par un refroidisseur de gaz.

Autre exemple, la PAC hybride Green PAC a été développée en Norvège par l'Institut des technologies énergétiques, puis par la société Hybrid Energy. Après un accord de partenariat conclu en 2015, ENGIE Solutions assemble ces systèmes sur mesure à Montauban-de-Bretagne en Ille-et-Vilaine. Cette PAC combine les principes de l'absorption et de la compression et fonctionne avec un mélange d'eau et d'ammoniac. Ce fluide naturel est zéotropique, c'est-à-dire que sa température varie lorsqu'il change d'état : grâce à lui, par rapport à une PAC classique, les échanges de chaleur au condenseur et à l'évaporateur sont améliorés, conduisant à un meilleur COP. Grâce à cette approche, de l'eau

LES PAC DE DEMAIN

Une application directe des PAC très haute température consiste à exploiter des sources de chaleur renouvelable basse température (solaire, géothermie, chaleur fatale...) pour produire de la vapeur en parallèle d'une chaudière existante. Une PAC générant de la vapeur doublerait au moins le rendement d'une chaudière électrique. L'utilisation d'électricité verte rendrait ce système entièrement décarboné. Ce principe fait l'objet d'un produit commercialisé pour de la vapeur à une température encore modeste de 120 °C (la SGH120 de Kobe Steel). Un COP de 3,5 est annoncé avec une source de chaleur fatale à 65 °C. Kobe Steel propose d'aller plus loin en ajoutant une étape de compression de la vapeur d'eau de 120 à 165 °C. Le COP est supérieur à 2.

La décarbonation de la chaleur basse et moyenne températures dans l'industrie est aujourd'hui à la croisée des chemins. Il n'y a pas de solution universelle. C'est que la chaleur est plurielle et que la température a un coût. L'idée d'un bouquet de solutions paraît la plus adaptée à la diversité des situations rencontrées. L'efficacité énergétique en fait partie, c'est peut-être la seule certitude aujourd'hui. ■