

# LES PAC MAÎTRISENT LES HAUTES TEMPÉRATURES

Les grosses pompes à chaleur (PAC) avec une puissance de 100 kW à quelques 1000 kW sont utilisées en Suisse pour la production de chaleur industrielle dans l'industrie mais également dans les réseaux de chaleur pour l'approvisionnement écologique en chaleur de chauffage et en eau chaude. Une étude de l'Haute école spécialisée de Suisse orientale (avant : l'Haute école des Sciences Appliquées de Buchs/NTB) a examiné un échantillon de ces applications de pompes à chaleur. Les scientifiques plaident pour l'utilisation de la technologie pour fournir davantage de chaleur industrielle à des températures pouvant atteindre 160 °C en présence d'une source de chaleur appropriée.



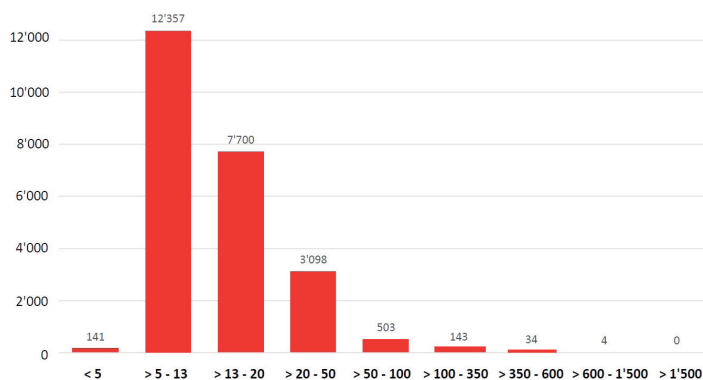
Vue sur la production de la Härterei Gerster AG à Egerkingen (SO). L'entreprise a investi pratiquement un demi-million de francs dans une pompe à chaleur et a pu réduire la consommation d'énergie pour la production de chaleur de confort. L'investissement est amorti en près de dix ans grâce aux économies réalisées sur les coûts énergétiques. Photo: Gerster AG

Dans le domaine de l'habitation, les pompes à chaleur sont largement répandues pour la production de chaleur de chauffage et d'eau chaude. Des pompes à chaleur sont en service dans environ 90% des nouvelles constructions suisses. La technologie permet de substituer les chauffages au fioul et au gaz et de faire avancer la décarbonisation; grâce à l'utilisation de la chaleur environnante et géothermique, les pompes à chaleur consomment un minimum d'électricité. Les pompes à chaleur sont également utilisées dans l'industrie, et ce, non seulement pour le chauffage des bâtiments mais également pour les procédés industriels. Ces derniers représentent 55% des besoins énergétiques de l'industrie. Les températures requises pour fournir la chaleur aux procédés peuvent s'élever jusqu'à 80 °C et plus. Elles sont ainsi généralement nettement plus élevées que celles destinées au chauffage des locaux à 20 °C.

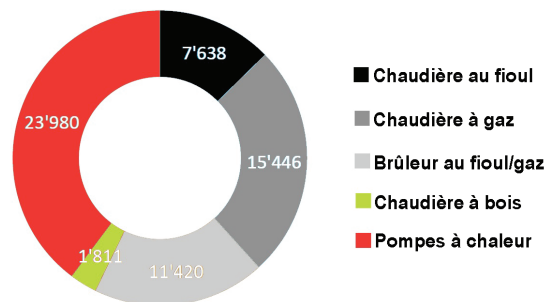
Pour qu'une pompe à chaleur puisse fournir des températures aussi élevées de manière efficace et économique, elle a besoin de sources de chaleur de 30 °C et plus de manière aussi constante que possible et en quantité suffisante. La source peut par exemple provenir des eaux usées générées lors des processus internes.. Il est par-dessus tout important que les flux de chaleur dans une entreprise soient d'abord analysés pour déterminer le domaine d'application énergétiquement approprié de la pompe à chaleur. Ceci peut être réalisé sur la base d'une analyse Pinch (voir l'encadré p.4). « En présence d'une source de chaleur adaptée, les pompes à chaleur peuvent fournir une chaleur industrielle pouvant atteindre 90 °C avec fiabilité », affirme le Dr Cordin Arpagaus, spécialiste des pompes à chaleur à l'Haute école spécialisée de Suisse orientale. « Aujourd'hui, il existe également sur le marché européen des pompes à chaleur haute température qui fournissent de la chaleur industrielle jusqu'à 160 °C. »

### Le potentiel industriel des pompes à chaleur est sous-estimé.

La chaleur industrielle est essentiellement générée à l'aide de combustibles fossiles. Mais l'industrie a également fait des premiers pas dans la technologie des pompes à chaleur écologique au cours des dernières années. Conformément aux statistiques du Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP), environ 24'000 pompes à chaleur ont été vendues en 2019, 181 d'entre elles avec une puissance de chauffage de 100 kW et plus, utilisées dans des grands bâtiments résidentiels et administratifs, dans les réseaux de chaleur et dans l'industrie. Dr Cordin Arpagaus avance



Par rapport au nombre de pompes à chaleur vendues en Suisse, les systèmes d'une puissance supérieure à 100 kW représentent encore une faible proportion: à savoir 181 pièces en 2019. Ce faisant, il convient de noter que le graphique n'est pas complet car il ne contient pas toutes les installations à grande puissance vendues. En termes de substitution des combustibles fossiles, chaque grande installation revêt une importance particulière. Graphique: GSP



Les pompes à chaleur sont en tête en termes de nombre de systèmes de chauffage vendus en Suisse. Graphique: GSP/remanié par C. Arpagaus

trois raisons aux nombres limités d'unité: « L'acquisition d'une chaudière est moins coûteuse et l'installation est plus simple. Cela s'ajoute le fait que certains responsables de l'énergie d'entreprises industrielles et les planificateurs ne prêtent pas encore suffisamment attention aux pompes à chaleur performantes. Souvent, les utilisateurs ne disposent pas des informations qui leur permettrait de faire évoluer le système vers des technologies de production de chaleur renouvelables. »

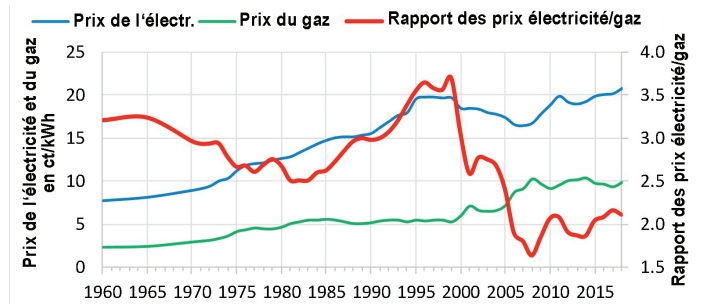
Dans le cadre d'une étude financée par l'Office fédéral de l'énergie, le Dr Cordin Arpagaus et le prof. Stefan Bertsch de l'Institut des systèmes énergétiques à l'Haute école spécialisée de Suisse orientale ont recensé et étudié 29 applications de pompes à chaleur de grande puissance, dont 15 dans l'industrie. Ces exemples illustrent la diversité des possibilités d'application dans la pratique. De nombreuses applications sont issues de l'industrie alimentaire où les pompes à chaleur

fournissent de l'eau chaude, de l'air chaud et de la chaleur industrielle, d'autres installations sont utilisées dans l'industrie de transformation. La majorité des installations sont en service depuis 2007 et disposent typiquement de puissances de chauffage et/ou de refroidissement de plusieurs 100 kW à quelques 1'000 kW.

### Chaleur industrielle jusqu'à 165 °C

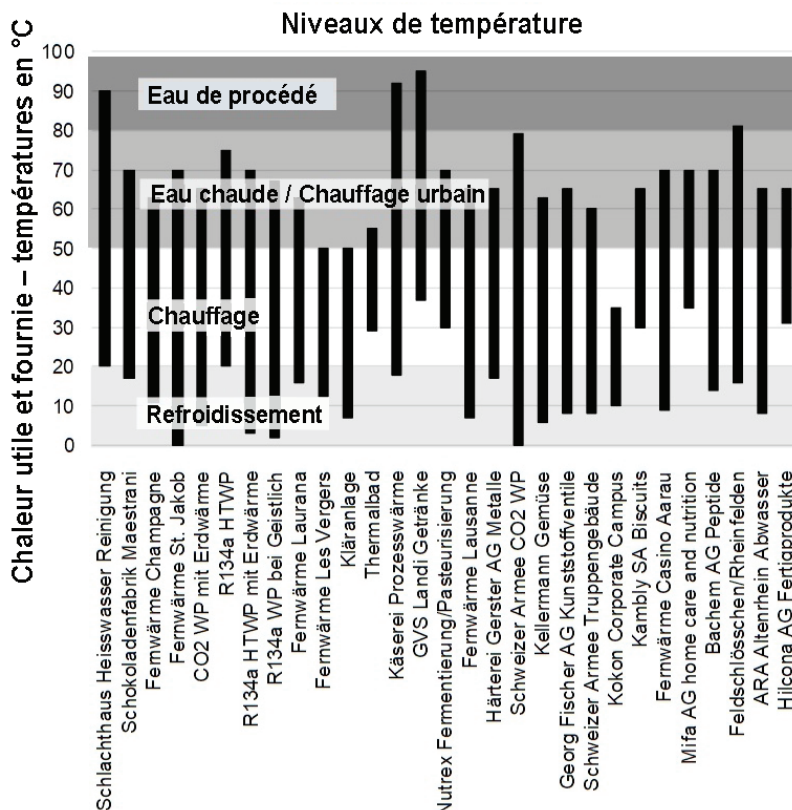
Une conclusion importante des exemples de cas de l'étude: l'utilisation de pompes à chaleur a permis de réduire la consommation énergétique de 30 à 40%, en se basant sur les informations disponibles par les entreprises. Dans certains cas individuels, par exemple la société Härtereier Gerster AG à Egerkingen (SO), les économies réalisées sont même nettement plus élevées. En remplacement de deux chaudières à gaz, une pompe à chaleur de 260 kW fournit désormais 65 degrés de chaleur de chauffage. 800 MWh de gaz peuvent ainsi être économisés chaque année, de plus la pompe à chaleur ne consomme seulement que 190 MWh d'électricité par année. La pompe à chaleur utilise la chaleur générée par la production d'eau de refroidissement comme source.

Les pompes à chaleur traditionnelles se voient confrontées à leurs limites entre 90 et 100 °C. Ainsi, seulement trois pompes à chaleurs sur les 29 études de cas de l'étude dépassent



Plus l'électricité est bon marché par rapport au gaz, plus l'utilisation d'une pompe à chaleur est économique par rapport à un système de chauffage au gaz. A long terme, l'électricité est aujourd'hui relativement bon marché par rapport au gaz (profils de consommation: 20'000 kWh de gaz, 4'500 kWh d'électricité). Graphique: rapport final « Industrial Heat Pumps in Switzerland »

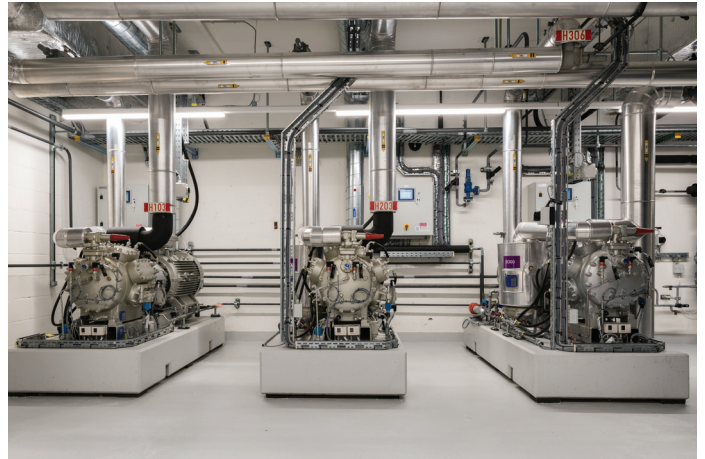
tout juste le 90 °C (à savoir la fromagerie montagnarde de Gais à Appenzell, l'entreprise de remplissage de bouteilles GVS Landi AG à Schaffhausen-Herblingen et l'abattoir de Zurich). Afin d'exploiter le potentiel économique dans le secteur industriel, même à des températures plus élevées, les pompes à chaleur devront être utilisées plus fréquemment à l'avenir pour fournir de la chaleur industrielle sur une plage de température supérieure à 100 °C.



Les pompes à chaleur couvrent déjà une large gamme de températures utiles et fournies dans les entreprises industrielles et les réseaux de chaleur. Dans les études de cas, les plus hautes températures d'entrée de plus de 90 °C ont été observées dans la fromagerie montagnarde de Gais à Appenzell, l'abattoir de Zurich ainsi que dans l'entreprise de remplissage de bouteilles de la société GVS Landi). Les pompes à chaleur fournissant une chaleur d'environ 70 °C sont commercialisées depuis longtemps. Afin d'exploiter davantage le potentiel de chaleur industrielle, il convient également d'utiliser davantage les pompes à chaleur à haute température. Graphique: rapport final « Industrial Heat Pumps in Switzerland »

### Rejets thermiques des processus de refroidissement

Les applications industrielles potentielles des pompes à chaleur à haute température sont, selon le rapport final, « la production d'air chaud et le préchauffage de l'air pour les processus de séchage (c'est-à-dire le bois, le papier, les boues d'épuration, l'amidon, les briques et les aliments pour animaux) en utilisant la chaleur résiduelle de l'air humide évacué ou la production de vapeur de processus pour la stérilisation et la pasteurisation des aliments (par exemple le lait, les jus et autres boissons) ». Une source de chaleur adaptée est la chaleur résiduelle des installations de refroidissement (chaleur de condensation des machines frigorifiques), souvent présente dans l'industrie alimentaire. D'autres sources de chaleur possibles sont les rejets thermiques des processus industriels et des compresseurs d'air comprimé et également les eaux usées ou l'air évacué des processus de séchage.



Deux compresseurs basse pression (à gauche, au centre) assurent le refroidissement des processus chez le fournisseur pharmaceutique Bachem AG à Bubendorf (BL). Le compresseur haute pression (à droite) utilise la chaleur résiduelle de la production de froid pour l'approvisionnement en chaleur de chauffage et en eau chaude. Photo: eicher+pauli Liestal AG

## L'EPFL DÉVELOPPE UN OUTIL DE PLANIFICATION POUR LES POMPES À CHALEUR INDUSTRIELLES

Le projet de recherche présenté dans le texte principal fait partie d'un programme de recherche international de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) sur les pompes à chaleur industrielles (connu sous le nom « Annex 48: Industrial Heat Pumps »). Un second projet de recherche intitulé « Integrated industrial heat pump systems », réalisé par des chercheuses et chercheurs de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), fait partie de ce même programme de recherche.

Cette étude, également achevée récemment, a donné naissance à un outil logiciel, lequel permet d'optimiser la planification des pompes à chaleur industrielles. L'outil permet « une conception optimale des pompes à chaleur industrielles », affirme l'auteur principal de l'étude Dr Anna Wallerand. « Notre logiciel détermine les grandeurs de planification une application concrète telles que la puissance et la température, définit la structure optimale de pompes à chaleur à plusieurs niveaux, y compris les niveaux de température correspondants, et propose au planificateur les réfrigérants et les compresseurs adaptés. »

Avec l'outil, il est possible d'améliorer l'intégration des pompes à chaleur pouvant réduire les coûts de 5 à 30% selon l'estimation de la chercheuse. Il permet également d'éviter que les pompes soient mal utilisées; par exemple, qu'elles utilisent la chaleur résiduelle qu'il serait préférable d'utiliser directement dans le processus de production du point de vue énergétique (par ex. par le biais d'un échangeur thermique).

La base pour l'utilisation de l'outil est une analyse Pinch qui retrace tous les flux énergétiques des processus concernés et identifie ainsi le point d'intégration idéal des pompes à chaleur. Un logiciel prêt à être commercialisé est disponible pour l'analyse Pinch (<https://pinch-analyse.ch/>). L'outil logiciel de l'EPFL, qui est également utilisé pour configurer la pompe à chaleur appropriée, reste un résultat de la recherche universitaire jusqu'à présent. Sa convivialité doit encore être améliorée avant que les planificateurs de pompes à chaleur puissent l'utiliser. BV

➤ Le **rapport final** du projet « Integrated industrial heat pump systems » de l'EPFL est disponible sur: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38624>

Si les pompes à chaleur peuvent être utilisées dans un contexte industriel où il y a un besoin simultané de refroidissement et de chauffage, le résultat est une solution globale particulièrement efficace et économique. C'est ce que montre l'exemple de la société Pharmazulieferers Bachem AG (Bubendorf/BL). Deux pompes à chaleur à ammoniac y fournissent l'eau froide pour le refroidissement des processus à 8 °C. La chaleur résiduelle du processus de refroidissement est transformée par une troisième pompe à chaleur en chaleur de chauffage et en eau chaude, et ce avec un coefficient de performance (COP) de 7,1 (au point de fonctionnement W38/W71, c'est-à-dire une température utile de 38 °C et une température fournie de 71 °C). Un kilowattheure (kWh) d'électricité donne ainsi 7,1 kWh de chaleur. Concernant les installations étudiées dans les 29 études de cas, la moyenne du COP était d'environ 4,0 (pour une hausse de température de 50 Kelvin).

### Économique malgré un investissement plus élevé

Une pompe à chaleur a un coût d'investissement plus élevé par kilowattheure de chaleur fournie par rapport à un système de chauffage au gaz. Cependant, en raison de l'utilisation très efficace de l'énergie, une pompe à chaleur est parfois tout aussi économique, et même plus économique, qu'un système de chauffage au gaz sur l'ensemble de son cycle de vie.

Cordin Arpagaus reçoit sans cesse des demandes de l'industrie, qui s'intéresse à l'utilisation de pompes à chaleur à haute température. Il s'agit tantôt d'un grand détaillant suisse, tantôt d'un fabricant de vitamines du nord-ouest de la Suisse, ou encore de conseillers en énergie, de bureaux d'études ou de fabricants de pompes à chaleur. « L'industrie ressent la pression sociale d'augmenter l'efficacité énergétique et de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> ». Le chercheur est convaincu que « les pompes à chaleur industrielle à hautes températures prendront encore plus d'importance dans les années à venir ».

- Le **rapport final** du projet de recherche « Industrial Heat Pumps in Switzerland – Application Potentials and Case Studies » est disponible sur:  
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=41721>.



Dr. Anna Wallerand, scientifique à l'Institut des procédés industriels et des systèmes énergétiques (IPESE) de l'EPFL, et Dr. Cordin Arpagaus, chercheur sur les pompes à chaleur à l'Institut des systèmes énergétiques à l'Haute école spécialisée de Suisse orientale. Photos: EPFL/Haute école spécialisée de Suisse orientale

- Informations sur la recherche sur les pompes à chaleur industrielles sous le toit de l'IEA (**Annexe 48 « Industrial Heat Pumps »**):  
<https://heatpumpingtechnologies.org/annex48/>.
- Stephan Renz (info[at]renzconsulting.ch), directeur du programme de recherche de l'OFEN « Pompes à chaleur et froid », communique des **informations**.
- Vous trouverez d'autres **articles spécialisés** concernant les projets de recherche, les projets pilotes et de démonstration ainsi que les projets phares dans le domaine des pompes à chaleur et le froid sur:  
[www.bfe.admin.ch/ec-pac-froid](http://www.bfe.admin.ch/ec-pac-froid)