

POMPES À CHALEUR: L'IA DÉTECTE L'INEFFICACITÉ

En tant que générateurs de chaleur à haut rendement, les pompes à chaleur sont plus sensibles aux écarts par rapport aux réglages des valeurs de consigne que les autres appareils de chauffage. Par conséquent, les pompes à chaleur consomment souvent plus d'électricité que nécessaire. Des algorithmes ont été développés à l'ETH de Zurich pour aider les fournisseurs d'énergie à détecter les pompes à chaleur présentant un potentiel d'amélioration dans leur réseau d'alimentation. Les données de consommation d'électricité enregistrées par des compteurs intelligents, qui sont ensuite analysées par l'intelligence artificielle (IA), constituent la base de ce système.



Avant que les propriétaires de maison n'aient l'idée de faire appel à un conseil en énergie, ils doivent avoir que leur installation de chauffage n'est pas réglée de manière optimale. Photo: EKZ

Les pompes à chaleur rendent des services inestimables pour la décarbonisation du parc immobilier. Elles utilisent la chaleur ambiante de l'air, du sol ou de l'eau. Si elles sont alimentées avec de l'électricité provenant de sources renouvelables, leur fonctionnement est neutre en termes de CO₂. Les pompes à chaleur sont de plus en plus répandues. En 2023, les ventes en Suisse ont atteint un nouveau record avec un peu plus de 43'000 appareils. Environ 20% des bâtiments suisses sont aujourd'hui chauffés par une pompe à chaleur. Il s'agit, et de loin, du système de chauffage le plus utilisé dans les nouvelles constructions.

Toutefois, à l'instar des chauffages traditionnels et autres appareils de domotique, les pompes à chaleur ne sont pas toujours réglées de manière optimale. L'une des raisons est que les installateurs règlent souvent des températures de départ trop élevées – en tant que réserve pour ainsi dire – et que ces températures restent régulièrement inchangées par la suite. De plus, les appareils sont parfois en service depuis de nombreuses années et les modifications apportées aux constructions ne sont pas toujours prises en compte. En conséquence, les pompes à chaleur consomment souvent plus d'électricité que ce qui est réellement nécessaire, ce qui entraîne des coûts supplémentaires inutiles. L'analyse de 410 consultations énergétiques auprès de clients des entreprises d'électricité du canton de Zurich (EKZ) montre où se situent les problèmes. Pour 41% des ménages conseillés équipés d'une pompe à chaleur, la courbe de chauffe, qui régule la température de départ du chauffage en fonction de la température extérieure, était trop élevée; la pompe à chaleur

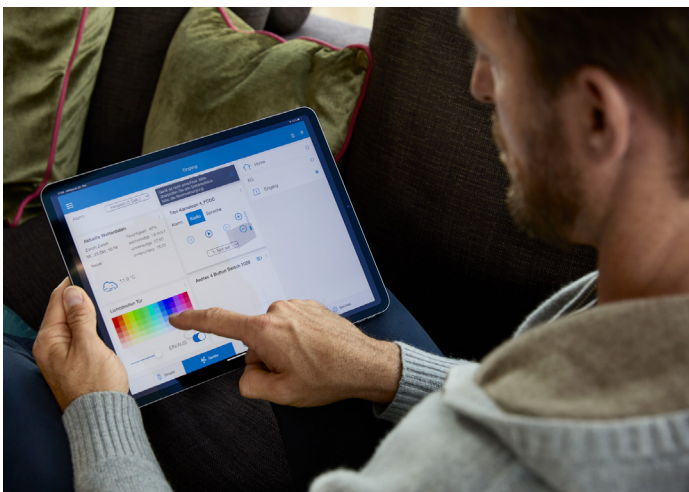


Dans les nouvelles constructions, les pompes à chaleur (au centre de la photo: une pompe à chaleur air-eau qui utilise la chaleur environnementale de l'air ambiant) sont aujourd'hui le système de chauffage le plus utilisé. Cependant, les appareils ne peuvent atteindre une efficacité maximale qu'avec un réglage optimal. Photo: EKZ

doit produire une course de température inutilement élevée, ce qui implique un surcroît de travail ou une consommation d'électricité plus importante pour le compresseur. Dans 36% des cas, l'abaissement nocturne a été activé par erreur, ce qui a entraîné un refroidissement des bâtiments; le jour suivant, le chauffage complémentaire a nécessité une grande puissance et une température de départ plus élevée, ce qui signifie une dépense d'énergie supplémentaire pour une pompe à chaleur. Dans 26% des cas, la limite de chauffage réglée était trop élevée; la pompe à chaleur a fonctionné plus longtemps que nécessaire compte tenu de la température extérieure.

Les données des compteurs intelligents permettent d'économiser de l'électricité

De tels réglages erronés ne sont pas visibles pour les exploitants des pompes à chaleur. Quiconque fait installer un appareil dans son système de chauffage est sûr qu'il est parfaitement réglé et adapté au bâtiment. C'est pourquoi il semble n'y avoir aucune raison de faire appel à un conseiller en énergie. C'est là qu'intervient un projet de recherche mené par l'École polytechnique fédérale (ETH) de Zurich en collaborations avec des partenaires. « Nous avons conçu un outil qui permet aux fournisseurs d'électricité d'informer les ménages sur le potentiel d'optimisation de leurs pompes à chaleur », explique Tobias Brudermüller, scientifique à l'ETH Zürich. Le projet « L'IA dans le conseil sur les pompes à chaleur » (original: KI in der Wärmepumpenberatung, KI-WP), financé par l'OFEN, s'est déroulé sur trois périodes de chauffage et s'est terminé au printemps 2024.



L'EKZ et de nombreuses autres entreprises d'approvisionnement en énergie proposent aujourd'hui à leurs clients une plateforme qui leur permet de s'informer sur leur consommation d'énergie et de prendre des mesures d'efficacité si nécessaire. Photo: EKZ

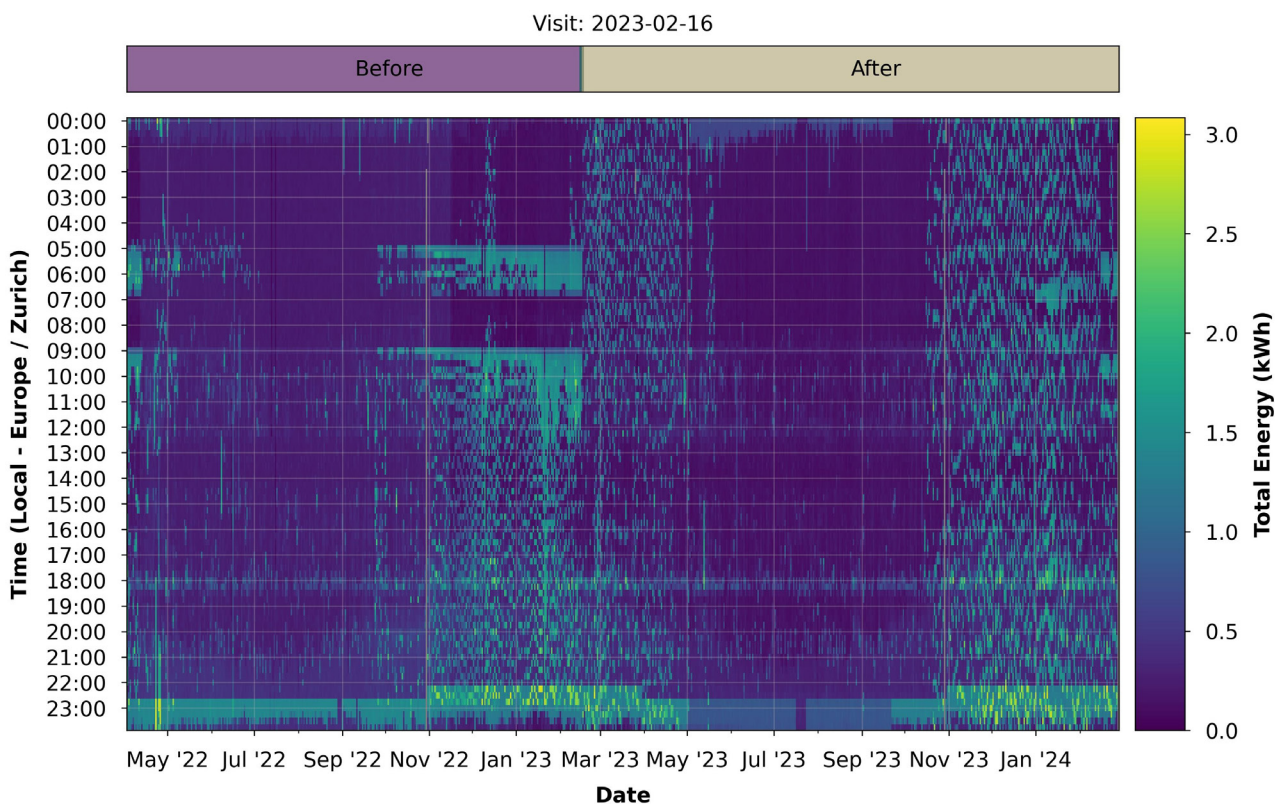
Mais comment reconnaître des pompes à chaleur qui ne sont pas réglées de manière optimale, si l'exploitant n'en est pas conscient? Dans le cadre de sa thèse de doctorat à l'ETH de Zurich, Tobias Brudermüller a trouvé un moyen d'informer l'exploitant des situations douteuses sans se rendre sur place. Pour cela, il utilise des smart meters, des compteurs électriques modernes actuellement installés dans toute la Suisse à la place des anciens compteurs électriques. Avec eux, le relevé n'a plus lieu à la maison car ils transmettent la consommation d'électricité directement au fournisseur.

Déductions sur la consommation électrique

Les données des compteurs intelligents permettent de connaître les horaires d'exploitation de la pompe à chaleur et sa consommation d'énergie. « Nous connaissons ainsi la consommation d'électricité de la pompe à chaleur, mais pas sa production de chaleur, c'est pourquoi nous ne sommes pas en mesure de nous prononcer sur l'efficacité (coefficient de performance annuel/COP) de la pompe à chaleur à partir des données du compteur intelligent. Les données des compteurs intelligents donnent toutefois différents indices per-

mettant de suspecter un réglage suboptimal d'une pompe à chaleur », explique Brudermüller. Le chercheur de l'ETH cite plusieurs aspects:

- Si une pompe à chaleur est souvent allumée et éteinte ou si elle présente un nombre d'heures de fonctionnement très élevé, cela indique que son réglage n'est pas optimal, et ce, quel que soit le type de bâtiment dans lequel elle est installée.
- Si on connaît la puissance de la pompe à chaleur (par ex. grâce aux données d'enregistrement du fournisseur d'énergie), il est possible de calculer le taux d'utilisation en tenant compte de la consommation d'électricité, ce qui permet de déterminer si une pompe à chaleur est surdimensionnée ou sous-dimensionnée.
- D'autres déductions sont possibles avec l'adresse de la pompe à chaleur car l'intégration des données du registre des bâtiments et des logements, par ex. permet de savoir dans quel type de bâtiment (nouvelle construction ou construction existante; maison individuelle ou plurifamiliale) la pompe à chaleur est installée. Il est alors possible de regrouper les pompes à chaleur du même type de bâtiment et de comparer leur consommation électrique, et éventuellement



Exemple de consommation d'électricité d'une pompe à chaleur avant et après une consultation énergétique EKZ, laquelle a eu lieu le 16 février 2023 et donné lieu à un nouveau réglage de la pompe à chaleur. Le graphique montre que l'abaissement nocturne a été désactivé à cette occasion et que les pics de puissance ont ainsi été supprimés le matin. La forte activité en fin de soirée (avant et après le conseil en énergie) s'explique par la production d'eau chaude à ce moment-là. Illustration: rapport final KI-WP

DÉSAGRÉGATION

Il arrive que les pompes à chaleur soient équipées de leur propre compteur intelligent, lequel enregistre la consommation électrique de l'appareil de chauffage. C'est notamment le cas lorsque la pompe à chaleur est facturée à un tarif d'électricité spécifique. Mais normalement, un ménage ne dispose que d'un seul compteur intelligent qui enregistre la consommation électrique totale du ménage (normalement toutes les 15 minutes). Dans ce cas, le compteur intelligent ne permet pas de connaître les heures et les quantités de consommation de la pompe à chaleur. Il existe toutefois des méthodes permettant d'isoler (de « désagréger », dans le jargon scientifique) certains gros appareils électriques de la consommation totale.

Dans le cas des pompes à chaleur, cette méthode fonctionne avec une grande fiabilité en intégrant les données de température. Au final, on sait donc pendant quelle période la pompe à chaleur a fonctionné et quelle quantité d'électricité elle a consommée.

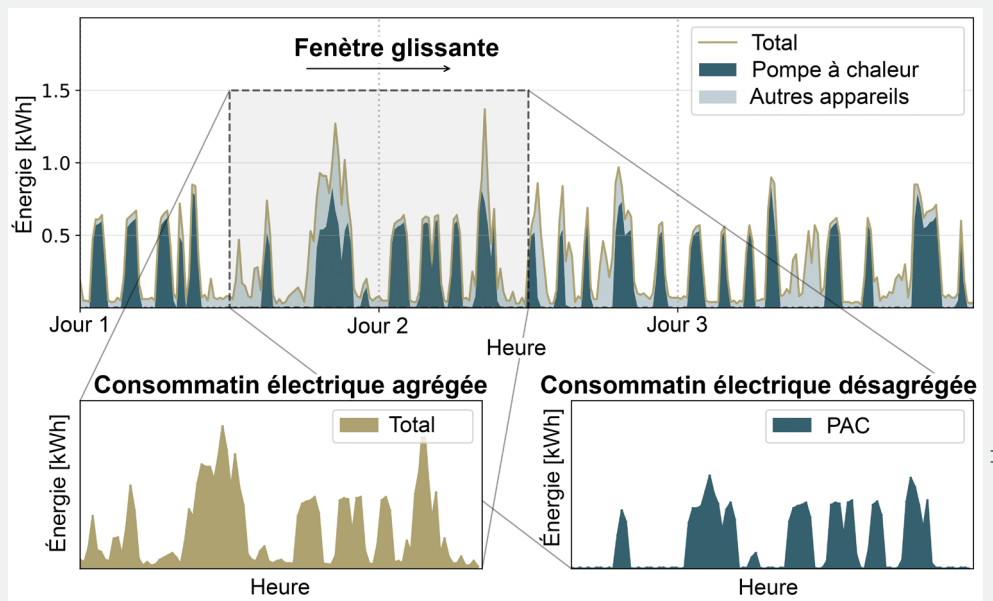


Illustration : rapport final K-WP

de découvrir des « aberrations » (consommation électrique remarquablement élevée!).

- Connaître la taille du bâtiment permet de calculer la quantité d'électricité nécessaire aux pompes à chaleur situées à différents endroits pour chauffer un mètre carré de surface habitable. Cette comparaison ne permet pas forcément de conclure qu'une pompe à chaleur donnée est mal réglée, mais elle donne l'occasion de chercher les raisons d'une éventuelle consommation d'électricité élevée.

Il convient de préciser que les données des compteurs intelligents peuvent être utilisées pour évaluer les inefficacités uniquement ces données permettent de déduire la consommation d'électricité de la pompe à chaleur. Ce n'est pas toujours le cas, par exemple en présence d'une installation PV dans le foyer.

Un avantage pour les clients EKZ

Les algorithmes basés sur l'IA développés par Tobias Brudermüller identifient, à partir des données des compteurs intelligents, les clients pour lesquels il semble exister un potentiel d'économie d'énergie autour de la pompe à chaleur. La compagnie d'électricité du canton de Zurich (EKZ) a utilisé les algorithmes à titre d'essai, comme l'explique Marina

Gonzalez Vaya, responsable des nouvelles technologies chez EKZ: « Dans notre portail client « Assistant énergie », les clients peuvent consulter des analyses de leur consommation d'électricité et recevoir des conseils personnalisés pour réaliser des économies depuis longtemps déjà. Les algorithmes de l'ETH nous permettent d'élargir les analyses en nous concentrant sur les pompes à chaleur. Dans le cadre du projet KI-WP, un groupe de clients a déjà reçu les résultats. À l'avenir, d'autres clients équipés d'une pompe à chaleur devraient bénéficier de ce retour d'information ».

Il est encore trop tôt pour dire si, et dans quelle mesure, les clients de l'EKZ profiteront de ce feedback pour recourir à un conseiller en énergie ou prendre des mesures d'optimisation. Les expériences collectées dans d'autres projets montrent qu'une telle démarche serait tout à fait rentable, notamment financièrement, pour de nombreux utilisateurs de pompes à chaleur, à savoir ceux chez qui la pompe à chaleur est mal réglée: une enquête menée auprès de près de 300 ménages de la zone d'approvisionnement d'EKZ et de CKW a révélé que, grâce à un conseil en énergie, la moitié « la moins bonne » de tous les ménages a pu économiser 1'805 kWh par an en moyenne (soit 15,2%), ce qui correspond à une économie

d'environ 580 francs. C'est plus que le coût habituel d'une consultation en énergie.

Les algorithmes sont librement accessibles

Les algorithmes développés par Tobias Bruder Müller dans le cadre de sa thèse de doctorat à l'ETH ont été publiés en « open-source » et les utilisateurs ainsi que la communauté scientifique y ont librement accès. « Chaque fournisseur d'énergie peut reprendre notre travail et l'intégrer au système de feedback pour ses clients », explique Tobias Bruder Müller. Parfois, des fournisseurs tiers se chargent de cette tâche: la société Enerlytica a implémenté l'algorithme dans l'assistant énergétique de l'EKZ dans le cadre du projet KI-WP. Selon Bruder Müller, la mise en place de systèmes de feedback pour les utilisateurs de pompes à chaleur est également importante pour maximiser l'efficacité énergétique des pompes à chaleur en fonctionnement. Il évoque à cet égard les efforts déployés au sein de l'Union européenne pour rendre la surveillance des pompes à chaleur obligatoire pour les exploitants d'appareils de chauffage.

- Vous trouverez davantage d'informations sur le **projet** « L'IA dans le conseil sur les pompes à chaleur » (KI in der Wärmepumpenberatung/KI-WP) sur : www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=48862.
- Roland Brüniger (roland.brueeniger@brueniger.swiss), responsable externe du programme de recherche de l'OFEN sur les technologies de l'électricité, et Stephan Renz (info@renzconsulting.ch), responsable externe du programme de recherche sur les pompes à chaleur et la technique du froid de l'OFEN, communiquent des **informations** à ce sujet.
- Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine de l'électricité sur www.bfe.admin.ch/ec-electricite.