

QUAND LES RÉSERVES POSENT PROBLÈME

Les systèmes techniques doivent être conçus en vue de maîtriser les charges exceptionnelles. Toutefois, un surdimensionnement des pompes à chaleurs et des machines frigorifiques entraîne dans certains cas une consommation d'énergie indésirable, et dans tous les cas des frais inutilement élevés. C'est ce que montre un projet de recherche actuel de la Haute école spécialisée de la Suisse orientale. Selon les découvertes des scientifiques, le problème dans les bâtiments administratifs serait de taille et encore plus considérable dans les immeubles d'habitation.

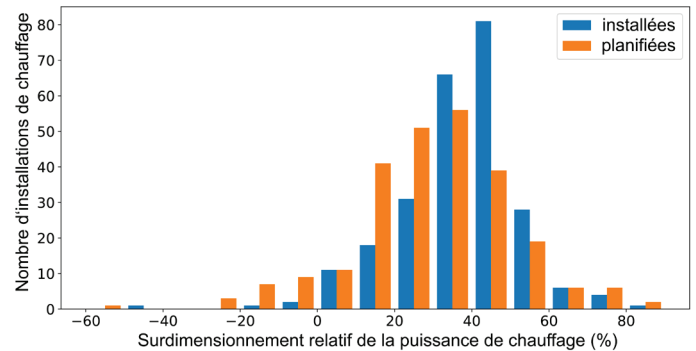


Un bâtiment universitaire moderne sur le campus de Rapperswil de la Haute école spécialisée de Suisse orientale. Avec 26,4 kWh/(m²a), le bâtiment a un faible besoin en chauffage. Un chauffage d'une puissance d'environ 15 W/m² suffirait pour le chauffer. En réalité, un chauffage de 42 W/m² est installé, l'installation de chauffage est ainsi surdimensionnée de 180% (facteur 2.8). Photo: Rapport final OptiPower

Personne n'aime avoir froid dans son logement lors d'une journée d'hiver glaciale. Et lorsqu'il faut se rendre au bureau par une chaleur écrasante en été, une climatisation performante est particulièrement appréciable. Pour répondre à nos besoins de confort, les pompes à chaleur (fourniture de chaleur et parfois de froid) et les machines frigorifiques (fourniture de froid) sont conçues avec des réserves pour être en mesure de faire face également aux situations climatiques extrêmes. Pour diverses raisons, d'autres réserves s'ajoutent dans la pratique (par ex. appareil de plus grande taille, prise en compte des horaires d'interdiction). Si cela entraîne un surdimensionnement, cela présente toutefois des inconvénients: en effet, premièrement, les grandes installations sont plus chères à l'achat et, deuxièmement, elles consomment parfois plus d'énergie car elles ne fonctionnent plus sur la plage de puissance optimale. La conception d'une pompe à chaleur ou d'une machine frigorifique est ainsi extrêmement délicate.

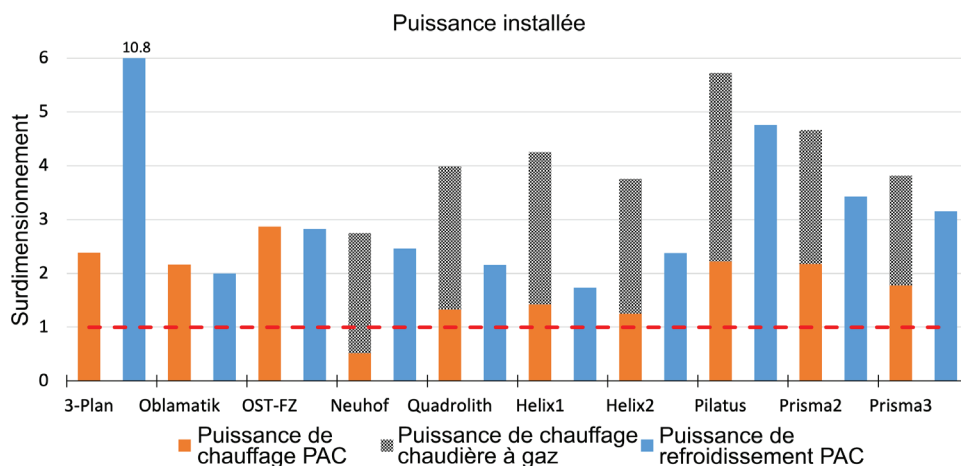
Plusieurs fois la puissance nécessaire

Le parc immobilier suisse est responsable de 40% de la consommation d'énergie du pays. Dans ce contexte, la recherche examine dans quelle mesure une conception optimale des pompes à chaleur et des machines frigorifiques pourrait réduire la consommation d'énergie. Le fait qu'il existe un potentiel d'économies dans ce domaine est connu depuis longtemps. Une étude de la Haute école spécialisée de la Suisse orientale (OST) a déjà fourni des chiffres saisissants il y a des années : les trois quarts des immeubles collectifs étudiés présentaient des pompes à chaleur surdimensionnées de 10% à 60%, et les bâtiments avaient une surconsommation de chauffage de 44% en moyenne.

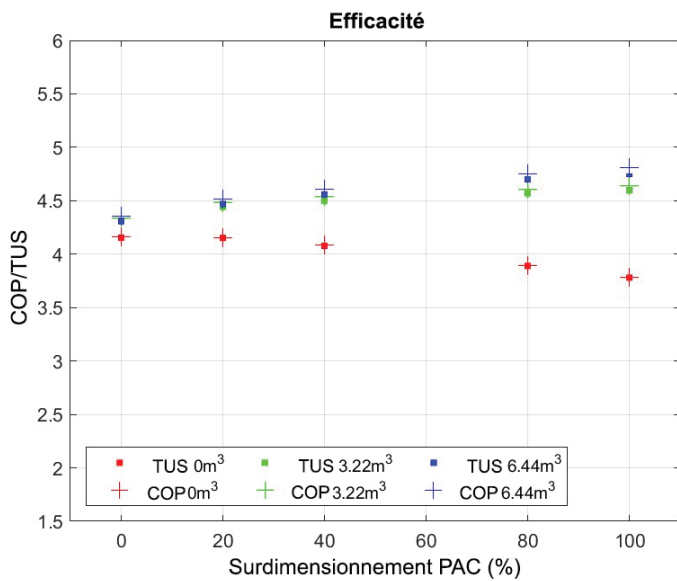


Surdimensionnement dans les bâtiments résidentiels: les colonnes bleues illustrent le nombre de pompes à chaleur surdimensionnées et dans quelle mesure. La médiane est de 40%, ce qui signifie que pour la moitié des bâtiments résidentiels, le surdimensionnement est supérieur à 40% et inférieur pour l'autre moitié. Avec un dimensionnement des pompes à chaleur dans les bâtiments tel que le proposaient les planificateurs du chauffage (colonnes orange), la plupart des pompes à chaleur auraient toujours été fortement surdimensionnées, mais dans une moindre mesure (valeur médiane: 30%). Graphique: Rapport final OptiPower

C'est dans ce contexte que des scientifiques de l'OST et de l'Institut de technologie énergétique de l'Université de Genève ont approfondi le sujet dans le cadre d'une nouvelle étude. Ils ont examiné dix immeubles de bureaux et plus de 500 logements collectifs chauffés ou climatisés par des pompes à chaleur (les immeubles de bureaux disposaient généralement d'un chauffage supplémentaire au gaz pour couvrir les pics de demande). Le surdimensionnement a été déterminé en comparant la puissance de chauffage réellement utilisée, déterminée à partir des données de mesure, avec la puissance de chauffage installée ou prévue. Les données du fournisseur d'électricité zurichois EKZ, qui fournit l'énergie aux bâtiments en tant que contractant, et du fournisseur d'énergie genevois



Surdimensionnement de la pompe à chaleur (PAC), du chauffage au gaz et des installations frigorifiques dans les dix immeubles de bureaux étudiés. La ligne rouge en pointillés indique la puissance de chauffage et de refroidissement réellement nécessaire, déterminée à partir des données de mesure. La puissance installée est généralement deux à quatre fois supérieure à la puissance nécessaire. Bilan: à l'exception du bâtiment « Neuhof », il aurait été possible de renoncer à un chauffage au gaz pour tous les bâtiments. De plus, la pompe à chaleur et la machine frigorifique auraient pu être plus petites dans la plupart d'entre eux. Graphique: Rapport final OptiPower



Efficacité de la pompe à chaleur (exprimée sous la forme d'un coefficient de performance annuel/COP) ou de l'ensemble du système pompe à chaleur-accumulateur (exprimé sous la forme d'un taux d'utilisation du système/TUS) pour une pompe à chaleur saumure-eau avec accumulateur tampon raccordé, en fonction du surdimensionnement. Le graphique permet de constater que pour les systèmes de chauffage avec un seul réservoir (petit ou grand), l'efficacité augmente avec un surdimensionnement croissant en raison du champ de sondes géothermiques plus important et de la réduction des pertes de cadence. Graphique: Rapport final OptiPower

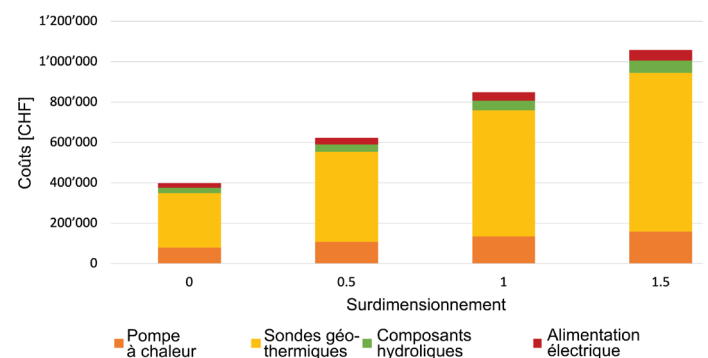
SIG, ont fait office de base. Des calculs de simulation ont également permis d'estimer l'impact d'un surdimensionnement sur les besoins électriques des pompes à chaleur ou des machines frigorifiques, ainsi que sur la durée de vie (cycles marche/arrêt) et la rentabilité. L'OFEN, la ville et le canton de Zurich ainsi que le canton de Bâle-Ville ont soutenu financièrement le projet de recherche baptisé OptiPower.

Concernant les immeubles d'habitation, l'enquête a confirmé les conclusions des études précédentes. La puissance des générateurs de chaleur et de froid est ici surdimensionnée de 40% par rapport à la valeur médiane, c'est-à-dire que le surdimensionnement est supérieur à 40% pour la moitié des bâtiments et inférieur pour l'autre moitié (voir graphique p. 2, en haut). Les pompes à chaleur et les machines frigorifiques des immeubles de bureaux étaient nettement plus surdimensionnées, de 100 à 300% (cf. graphique p. 2, en bas). « Pour les bâtiments administratifs en particulier, le surdimensionnement va bien au-delà de ce qui est nécessaire pour un approvisionnement énergétique fiable », explique le responsable de projet Igor Bosshard de l'Institut de technologie solaire de l'OST.

Un fonctionnement on-off inefficace

Les pompes à chaleur et les machines frigorifiques modernes ajustent leur output aux besoins grâce à un onduleur (convertisseur). Grâce à la régulation continue de l'onduleur, elles peuvent typiquement fournir de 30 à 100% de leur puissance nominale. Si toutefois la limite des 30% n'est pas atteinte, comme cela peut rapidement être le cas avec une installation fortement surdimensionnée, celle-ci tombe en mode on-off. Du point de vue énergétique, ce mode de fonctionnement est inefficace (coefficient de performance annuel plus faible) et entraîne une réduction de la durée de vie de l'appareil en raison d'une sollicitation élevée : des estimations relatives à une pompe à chaleur air-eau régulée par convertisseur ont montré que les surdimensionnements pratiqués dans la réalité réduisent parfois la durée de vie de 20 à 40% et peuvent augmenter la consommation d'énergie de 30%. Bilan d'Igor Bosshard: « Si toutes les installations fonctionnaient plus efficacement, ne serait-ce que de quelques pour cent, cela aurait tout de même un effet considérable pour la Suisse ».

Les pompes à chaleur air-eau tombent particulièrement souvent en mode « on-off », lequel est inefficace. Les causes sont d'ordre constructif (forte augmentation de la puissance lorsque la température de l'air extérieur est plus élevée). Le rapport final d'OptiPower conclut comme suit: « Dans ces cas en particulier, il convient de dimensionner la pompe à chaleur avec soin et de manière plutôt succincte ou de créer une plage de régulation aussi large que possible grâce à des cascades (plusieurs pompes à chaleur) ».



Coûts d'investissement pour une pompe à chaleur saumure-eau en cas de surdimensionnement de 50, 100 et 150%. Les sondes géothermiques ont la plus forte influence sur l'augmentation des coûts. En effet, dans un champ de sondes plus grand, les sondes internes sont moins bien régénérées et le nombre de sondes doit être augmenté de manière disproportionnée pour augmenter les performances. Graphique: Rapport final OptiPower



Cet immeuble collectif est très bien isolé et a une consommation de chauffage (y compris le préchauffage de l'air pour le système de ventilation) d'environ 17 kWh/(m²a) seulement. Avec une puissance de chauffage installée de 58 kW, soit 19,3 W/m², le chauffage est nettement surdimensionné (160%). Photo: Rapport final OptiPower

Le surdimensionnement est coûteux

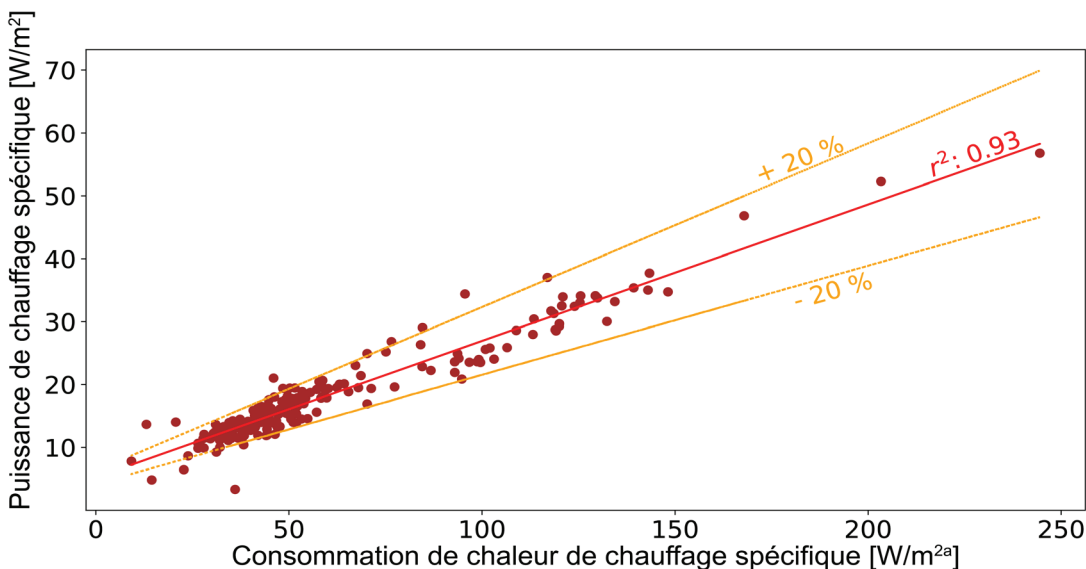
Toutefois, il serait incorrect d'affirmer qu'un surdimensionnement altère nécessairement l'efficacité d'une pompe à chaleur. Pour les pompes à chaleur saumure-eau couplées à la terre, l'efficacité peut même augmenter en cas de surdimensionnement. La raison : les pompes à chaleur saumure-eau surdimensionnées ont un champ de sondes géothermiques plus important et fournissent par conséquent une température de source plus élevée.

Ce gain d'efficacité a toutefois son revers, à savoir des coûts plus élevés. En effet, pour obtenir une plus grande puissance, le champ de sondes doit être agrandi de manière disproportionnée pour des raisons physiques, avec les conséquences financières que cela implique (cf. graphique p. 3, en bas). Ce qui est particulièrement vrai pour les pompes à chaleur eau saumure-eau l'est aussi pour les pompes à chaleur en général: en cas de surdimensionnement, les coûts d'investissement augmentent dans la mesure où les installations plus performantes sont plus chères. Compte tenu des coûts d'investissement, éviter un surdimensionnement s'avère essentiel.

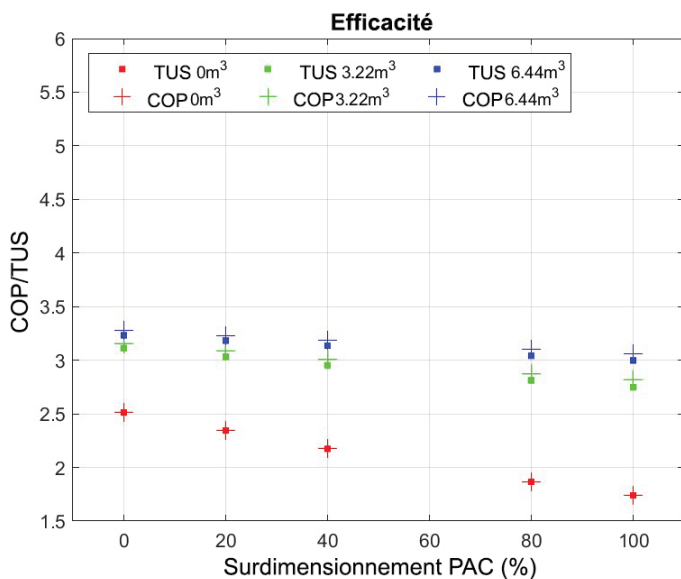
Diverses raisons pour le surdimensionnement

Dans le cadre du projet, l'équipe OptiPower a voulu savoir comment se produisait ce surdimensionnement parfois massif des pompes à chaleur et des machines frigorifiques. Pour le savoir, les chercheurs ont soumis les données de trois immeubles de bureaux à une analyse détaillée. Dans le cas des immeubles de bureaux, en l'occurrence, deux facteurs principaux ont conduit à une surestimation des besoins énergétiques lors de la planification : d'une part le besoin de réchauffer l'air frais froid dans le système de ventilation, d'autre part le besoin de refroidissement pour les salles de serveurs. Ce dernier est parfois surestimé d'un facteur 10.

Les chercheurs ont eu un peu plus de mal à trouver les causes dans le domaine des bâtiments d'habitation. Le fait est que des bâtiments avec les mêmes besoins en chauffage sont parfois équipés de pompes à chaleur de puissances très dif-



Le graphique montre, pour un peu plus de 250 chauffages analysés, une relation linéaire entre la consommation de chaleur de chauffage du bâtiment et la puissance de chauffage nécessaire (effectivement mesurée). Les planificateurs de chauffage peuvent se référer à ce graphique pour vérifier si la conception du chauffage est plausible: ce faisant, la puissance de l'installation de chauffage prévue devrait se situer dans la zone de la ligne rouge, compte tenu de la consommation de chaleur de chauffage donnée. Si tel n'est pas le cas, la planification du chauffage doit être révisée. Graphique: Rapport final OptiPower



Coefficient de performance annuel (COP) et taux d'utilisation du système (TUS) d'une pompe à chaleur air-eau à vitesse fixe (50 Hz) pour trois réservoirs tampons de tailles différentes. Les calculs de l'équipe OptiPower montrent que plus le surdimensionnement est important et plus le réservoir tampon est absent, plus le COP ou le TUS baissent. Graphique: Rapport final OptiPower

férentes par différents planificateurs. Le projet OptiPower n'a pas permis d'en déterminer la cause.

Recommandations pour les planificateurs de chauffage

Dans son rapport final, l'équipe OptiPower formule une série de recommandations visant à limiter le surdimensionnement des pompes à chaleur et des installations frigorifiques à un niveau raisonnable et à éviter les inefficacités et les surcoûts. La proposition pour les immeubles de bureaux est relativement simple. C'est là que la nouvelle norme SIA380/2:2022 et la simulation dynamique des bâtiments qu'elle prévoit offrent un bon levier, comme l'écrivent les chercheurs dans leur rapport final. Si cette norme est appliquée et que la puissance de chauffage n'est pas augmentée par des suppléments imprévus, le surdimensionnement peut être « évité ou du moins massivement réduit ». Une simulation dynamique du bâtiment entraîne certes des coûts supplémentaires, mais ces coûts sont nettement inférieurs aux coûts consécutifs à un surdimensionnement, soulignent les scientifiques.

Pour éviter un surdimensionnement important dans les immeubles, ils conseillent d'utiliser une « méthode de plausibilité simple », laquelle a été développée dans le cadre du

projet. Cette méthode consiste pour le planificateur à garder à l'esprit qu'il existe une relation linéaire entre la consommation de chauffage et la puissance réellement nécessaire du chauffage (cf. graphique p.4, en bas). Si un planificateur a prévu un chauffage pour un bâtiment donné, il peut facilement vérifier avec ce graphique si le chauffage est correctement dimensionné: Pour cela, il lui suffit de consulter la valeur du besoin en chaleur de chauffage indiquée dans les données du bâtiment; cette valeur lui permet de lire sur le graphique en question si la taille du chauffage est appropriée pour celui-ci.

Restriction du confort

Selon l'étude OptiPower, il y a de bonnes raisons de réduire le surdimensionnement des installations de chauffage et de refroidissement à un niveau acceptable, tant pour les nouvelles constructions que pour le remplacement du chauffage dans les bâtiments existants. Le responsable du Igor Bosshard est conscient que le confort des habitants pourrait s'en trouver affecté dans des situations météorologiques extrêmes. Pour lui toutefois, il ne s'agit pas d'un argument valable: « Avec un dimensionnement juste sans marge de sécurité, il se peut que les résidents se voient obligés d'accepter de ne chauffer que jusqu'à 20 °C pendant trois jours en période de grand froid. Dans la mesure où une telle situation se produit peut-être une fois tous les dix ans, nous considérons cette restriction comme acceptable ».

- Le **rapport final** du projet « OptiPower – Étude du dimensionnement optimal de la puissance des systèmes de chauffage et de refroidissement pour les bâtiments résidentiels et administratifs » est disponible en allemand : www.spf.ch/optipower
- Nadège Vetterli (nadege.vetterli@anex.ch), directrice externe du programme de recherche de l'OFEN Bâtiments et villes, communique des **informations** sur le projet.
- Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine Bâtiments et villes sur www.bfe.admin.ch/ec-bâtiment.