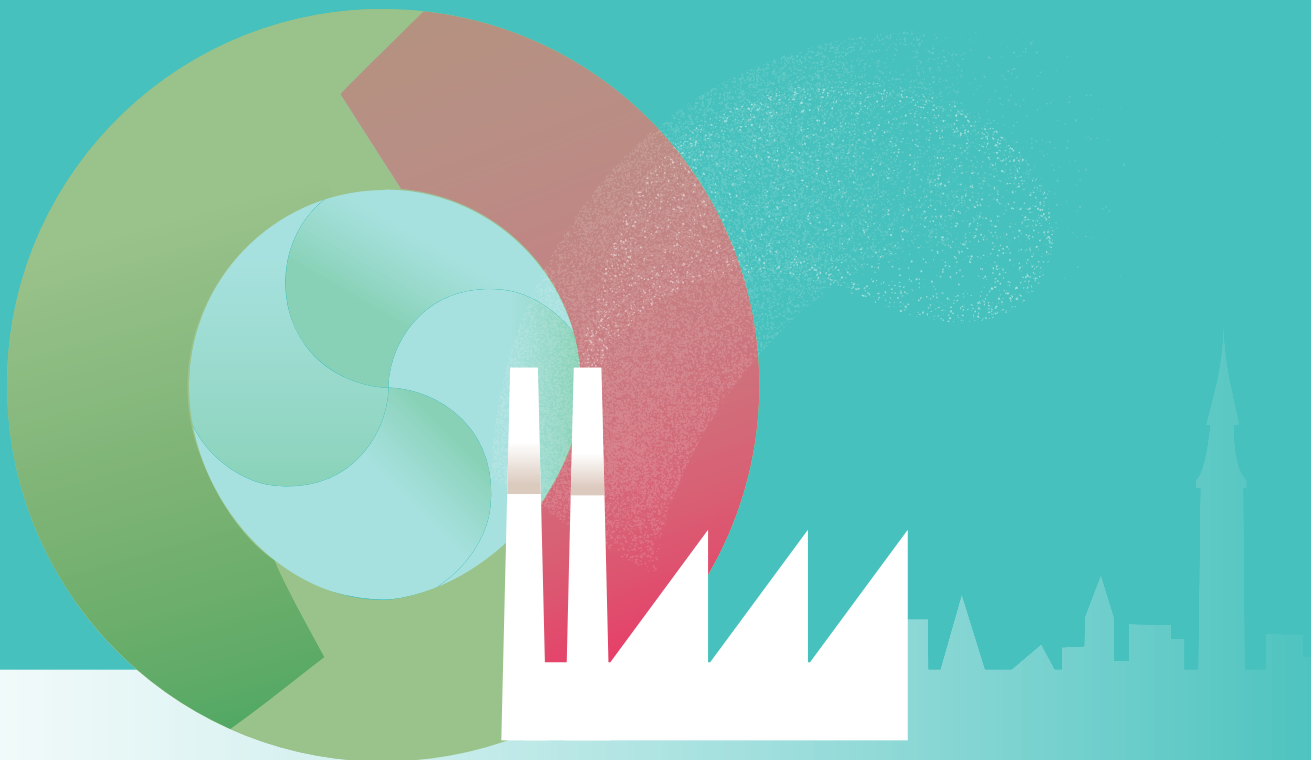


La plus grande source d'énergie inexploitée au monde **Chaleur excédentaire**



Il existe un moyen plus écologique et plus sûr de sortir de la **crise énergétique**

*Avant-propos d'Astrid Mozes
Présidente Régionale, Danfoss*

En 2022, le dictionnaire Collins a désigné le terme « permacrise » comme le mot de l'année. Si nous revenons sur ces deux dernières années, il semble en effet que le monde ait traversé une crise après l'autre. Une pandémie. Une sécheresse extrême, des inondations et des vagues de chaleur dues au réchauffement climatique. Une guerre dévastatrice en Europe pour la première fois depuis des décennies. Une crise énergétique qui menace de faire entrer l'économie mondiale en récession. Et, plus récemment, un séisme tragique en Turquie et en Syrie.

En Europe, les décideurs ont encore du mal à combler l'écart entre l'offre énergétique et la demande liée à la coupure de l'approvisionnement en gaz russe. Les pays prennent des mesures d'urgence réactives, telles que la remise en service d'anciennes centrales électriques au charbon, ainsi que la signature de nouveaux contrats de leasing d'énergie nucléaire et de gaz naturel liquéfié (GNL). Même si certaines de ces mesures peuvent contribuer à atténuer

la crise énergétique, la réalité tragique est qu'elles vont à la fois retarder et compliquer la transition écologique dont le monde a désespérément besoin.

Malheureusement, les décideurs négligent le fait qu'il existe une alternative accessible, plus écologique, moins chère et plus sûre, à savoir une utilisation plus intelligente de l'énergie dont nous disposons déjà. L'un des moyens d'y parvenir est par le biais de l'utilisation des grandes quantités d'énergie actuellement perdues dans tous les secteurs. L'énergie résiduelle se présente souvent sous la forme de chaleur excédentaire et est un sous-produit de la plupart des processus industriels et commerciaux. Les usines, les centres de données, les installations de traitement des eaux usées et les supermarchés produisent tous d'immenses quantités de chaleur excédentaire. Rien qu'au sein de l'Union européenne (UE), la chaleur excédentaire s'élève à 2 860 TWh/an, ce qui correspond presque à la demande

énergétique totale de l'UE en matière de chauffage et d'eau chaude dans les bâtiments résidentiels et tertiaires¹. Une grande partie de cette chaleur excédentaire pourrait être récupérée et utilisée².

Il en va de même dans le reste du monde, mais le potentiel de cette chaleur excédentaire n'est toujours pas reconnu. La chaleur excédentaire peut être réutilisée pour fournir de la chaleur et de l'eau chaude à une usine ou être exportée vers les maisons et les industries voisines par le biais d'un réseau énergétique local et urbain. La chaleur excédentaire est une ressource énergétique cachée, présente tout autour de nous.

L'utilisation de la chaleur excédentaire est synonyme d'efficacité énergétique sous sa forme la plus pure. Dans notre dernier rapport Danfoss Impact, nous avons décrit comment la demande énergétique devrait augmenter considérablement dans les années à venir en raison de la croissance démographique et de l'augmentation des revenus. Sans mesure d'urgence pour traiter cette demande dans l'équation écologique et utiliser chaque unité d'énergie plus efficacement, nous ne serons pas en mesure d'atteindre les objectifs climatiques mondiaux. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), un effort mondial pour une utilisation plus efficace de l'énergie pourrait réduire les émissions de CO₂ de 5 gigatonnes supplémentaires par an d'ici 2030, par rapport aux politiques actuelles. Il s'agit d'un tiers de la réduction requise pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050³. En termes de sécurité énergétique, ces économies d'énergie peuvent contribuer à éviter près de 30 millions de barils de pétrole par jour (trois fois la production moyenne de la Russie en 2021) et 650 milliards de mètres cubes (mmc) de gaz naturel par an, soit environ quatre fois plus que ce que l'UE a importé de Russie en 2021⁴. Ainsi, l'efficacité énergétique est une solution essentielle à de nombreuses crises les plus urgentes au monde : elle peut simultanément rendre l'énergie moins chère, plus sûre et plus durable.

Mais si le potentiel de l'efficacité énergétique est si impressionnant, pourquoi ne constatons-nous pas déjà un immense effort mondial pour améliorer l'efficacité, notamment en réutilisant l'énergie gaspillée ? Alors que la crise énergétique mondiale a déclenché une dynamique sans précédent en faveur du développement des énergies renouvelables, ce qui est nécessaire et encourageant, l'attention politique portée à l'amélioration structurelle de l'efficacité énergétique est quasi absente.

Une partie de cette négligence politique s'explique en partie par le caractère inhérent de l'efficacité énergétique : l'énergie gaspillée est invisible et les solutions permettant d'accroître l'efficacité dans les bâtiments, l'industrie et les transports sont techniques. Cependant, bien que les solutions ne soient pas aussi attrayantes que les éoliennes, elles restent essentielles si nous voulons trouver un moyen plus sûr et plus écologique de sortir des multiples crises auxquelles nous sommes confrontés.

L'utilisation de l'énergie qui serait autrement perdue permettrait d'augmenter la productivité de l'économie et de réduire les prix de l'énergie pour les consommateurs. En outre, la chaleur excédentaire peut remplacer des quantités importantes d'électricité ou de gaz qui seraient autrement nécessaires pour produire de la chaleur, et de cette manière, la chaleur excédentaire peut contribuer à stabiliser le futur réseau électrique et ainsi faciliter la transition vers un système d'énergie écologique. Le recyclage de la chaleur est non seulement une mesure négligée dans la crise énergétique actuelle, mais également la prochaine frontière vers la transition écologique.

Nous disposons déjà des solutions aujourd'hui, ce dont nous avons besoin maintenant, c'est de la volonté politique pour les mettre en œuvre. L'énergie la plus écologique, la moins chère et la plus sûre est celle que nous n'utilisons pas. N'attendons plus.

Danfoss Impact a pour but de partager notre point de vue sur le potentiel de l'efficacité énergétique et de l'électrification pour transformer notre système énergétique. Dans le dialogue sur la crise énergétique et la transition écologique, l'efficacité énergétique est souvent négligée sur le plan politique. L'une des raisons est que l'efficacité énergétique n'est pas aussi visible que les technologies d'énergie renouvelable. Une autre raison est que nous n'avons pas suffisamment expliqué l'immense potentiel de l'efficacité énergétique et le rôle essentiel qu'elle doit jouer pour parvenir à une électrification complète de la société.

Nous élaborons ces livres blancs pour dévoiler la nature intrinsèque, intangible et invisible de l'efficacité énergétique et pour mettre en lumière des données provenant de sources crédibles sur le rôle de l'efficacité dans la transformation de notre système énergétique. Nous n'avons pas l'intention de fournir toutes les réponses à la limitation du réchauffement climatique à 1,5 degré, mais nous voulons souligner l'importance de limiter la demande énergétique comme base pour le remplacement des combustibles fossiles par de l'énergie écologique. Nous voulons également démontrer que nous disposons déjà des technologies nécessaires. Ce numéro examine toute l'énergie qui est actuellement perdue dans les différents secteurs sous la forme d'une chaleur excédentaire qui pourrait autrement être réutilisée. Même si aujourd'hui le recyclage des matériaux tels que les canettes de boissons sans alcool est devenu la norme, cela n'a pas toujours été le cas. Avec la pénurie d'énergie à laquelle le monde est confronté, nous espérons que viendra le moment où le recyclage de la chaleur excédentaire deviendra également la norme.



Martin Rossen, Senior Vice-président,
Responsable Communication et Développement Durable,
Danfoss

L'article a été rédigé par Sara Vad Sørensen, Responsable Analyses au sein de l'équipe Communication et Développement Durable chez Danfoss. Les commentaires ou les questions peuvent être adressés à : sara.sorensen@danfoss.com.

Vous ne disposez que de 2 minutes ?

Voici les points clés à retenir



La chaleur excédentaire est la plus grande source d'énergie inexploitée au monde

Rien qu'au sein de l'Union Européenne (UE), la chaleur excédentaire s'élève à 2 860 TWh/an, ce qui correspond presque à la demande énergétique totale de l'UE en matière de chauffage et d'eau chaude dans les bâtiments résidentiels et tertiaires⁵. Une grande partie de cette chaleur excédentaire pourrait être récupérée et réutilisée.



Les solutions existent déjà

Il existe des technologies de récupération de chaleur qui peuvent utiliser la chaleur excédentaire des industries, des installations de traitement des eaux usées, des centres de données, des supermarchés, des stations de métro et des bâtiments commerciaux. La chaleur excédentaire peut être réutilisée pour fournir de la chaleur et de l'eau chaude à une usine ou être exportée vers les maisons et les industries voisines par le biais d'un réseau énergétique local et urbain. Ce document présente des mesures politiques concrètes visant à accélérer l'utilisation de la chaleur excédentaire dans tous les secteurs, ce qui profite aux citoyens et aux entreprises en réduisant les coûts énergétiques et en accélérant la transition écologique.



La réutilisation de la chaleur excédentaire est synonyme d'efficacité énergétique sous sa forme la plus pure

Une impulsion mondiale en faveur d'une plus grande efficacité peut contribuer à éviter près de 30 millions de barils de pétrole par jour (ce qui correspond à trois fois la production moyenne de la Russie en 2021) et 650 mmc de gaz naturel par an, soit environ quatre fois plus que ce que l'UE a importé de Russie en 2021⁶.

Pourquoi la chaleur excédentaire ?

L'absence de mesures du côté de la demande dans la crise énergétique mondiale

Les experts s'accordent de plus en plus à dire que la flambée des prix de l'énergie devrait se poursuivre au moins dans les prochaines années. Alors que la crise énergétique s'est aggravée en raison de la guerre dévastatrice sur le sol européen, les conséquences se font sentir à l'échelle mondiale. Dans le monde entier, l'inflation élevée a malheureusement poussé les familles dans la détresse économique, contraint les usines à réduire leur production et ralenti la croissance économique au point que plusieurs pays sont actuellement en récession. En Europe, où l'approvisionnement en gaz est vulnérable en raison de la dépendance à l'égard de la Russie, le rationnement du gaz et le risque important de pannes de courant pourraient résulter d'une pénurie d'alimentation électrique et d'une instabilité du réseau.

Quelles ont été les réponses politiques à la crise énergétique ? Globalement, la plus grande attention politique a été consacrée aux mesures du côté de l'offre. Fait inattendu et positif, la crise énergétique mondiale a déclenché une dynamique sans précédent en faveur du développement des énergies renouvelables. Le monde s'apprête désormais à ajouter autant d'énergie renouvelable au cours des cinq prochaines années qu'il ne l'a fait au cours des vingt dernières⁷. C'est à la fois encourageant et nécessaire.

Mais comme le développement des énergies renouvelables n'est pas une solution à court terme, l'un des principaux éléments de la

réponse politique à la crise a été l'augmentation des importations de gaz naturel liquéfié (GNL) par les gouvernements. Cette solution n'est pas viable sur le long terme, car la concurrence pour attirer le GNL sera plus forte, l'activité économique chinoise étant susceptible de reprendre⁸. En outre, la plupart des mesures fiscales d'urgence ont mis l'accent sur les subventions, comme l'aide au revenu des ménages. En revanche, les mesures visant à réduire structurellement la demande énergétique, telles que les incitations à l'investissement ou les réglementations visant à accroître les performances, sont quasiment absentes des politiques actuelle de gestion de crise (l'Allemagne étant l'une des rares exceptions à cette règle)⁹.

Malgré l'explosion des prix de l'énergie et l'incertitude sans précédent sur l'approvisionnement énergétique, nous sommes loin de l'amélioration moyenne des performances de 4 % par an nécessaire pour atteindre la neutralité carbone¹⁰. Les mesures d'efficacité structurelle, notamment une réglementation visant à réutiliser la chaleur excédentaire, sont quasi absentes des réponses politiques à la crise. Et ce, même si les mesures d'efficacité constituent l'outil le plus rapide et le plus rentable pour atténuer la crise énergétique.

De manière très remarquable, très peu d'initiatives ont incité à une utilisation plus efficace des importantes quantités d'énergie résiduelle sous la forme de chaleur excédentaire.

« L'utilisation du gaz ou de l'électricité pour le chauffage revient à utiliser une tronçonneuse pour couper du beurre, car le chauffage peut facilement être couvert par des sources de chaleur à faible valeur ajoutée comme la chaleur excédentaire. »

Comme nous le verrons dans les chapitres suivants, chaque fois qu'un moteur tourne, il génère de la chaleur. Les industries, les installations de traitement des eaux usées, les centres de données, les supermarchés, les stations de métro et les bâtiments commerciaux génèrent tous de grandes quantités de chaleur qui sont actuellement libérées dans l'air sans que rien ne soit mis en œuvre pour les réutiliser.

La chaleur excédentaire, également appelé surplus de chaleur ou chaleur résiduelle, peut être réutilisée grâce à des technologies existantes et éprouvées, notamment les pompes à chaleur. Les pompes à chaleur sont des appareils électriques capables de transporter la chaleur d'un endroit à un autre. Elles peuvent notamment exploiter la chaleur des gaz d'échappement d'une usine ou l'eau chauffée des systèmes de refroidissement des centres de données pour la faire circuler dans le système de chauffage des habitations voisines.

La réutilisation de la chaleur excédentaire réduira les coûts pour les consommateurs. Il est bien moins cher de réutiliser l'énergie que de l'acheter ou de la produire. À l'échelle de la société, la chaleur excédentaire peut remplacer d'importantes quantités d'électricité ou de gaz nécessaires à la production de chaleur. Ainsi, la chaleur excédentaire peut contribuer à stabiliser le futur réseau électrique. Pour paraphraser Amory Lovins, l'utilisation de vecteurs énergétiques à haute valeur ajoutée comme le gaz ou l'électricité pour le chauffage

revient à « utiliser une tronçonneuse pour couper du beurre », car le chauffage peut facilement être couvert par des sources de chaleur à faible valeur ajoutée comme la chaleur excédentaire. À cela s'ajoute le fait que, dans le futur système énergétique, de nouvelles sources de chaleur excédentaire, telles que les installations Power to X, vont apparaître et se multiplier, générant de grandes quantités de chaleur excédentaire pouvant être utilisées à grande échelle.

Par rapport à un scénario de décarbonation classique, une mise en œuvre complète de technologies qui exploitent les synergies entre les différents secteurs et permettent une utilisation de la chaleur excédentaire pourrait permettre d'économiser 67,4 milliards d'euros par an, une fois entièrement mise en œuvre (en 2050)¹¹. Ces économies résultent d'importantes économies de carburant, réalisées grâce à l'interconnexion du secteur du chauffage et du refroidissement avec d'autres parties du système énergétique et d'une plus grande flexibilité conduisant à une meilleure intégration des sources d'électricité renouvelables dans l'ensemble du système¹².

En résumé, l'utilisation accrue de la chaleur excédentaire réduira la demande énergétique globale, stimulera la productivité de l'économie et facilitera la transition vers un système énergétique durable.

Ces ressources cachées d'énergie sont dévoilées dans le chapitre suivant.

Qu'est-ce que la chaleur excédentaire ?

Imaginez que vous traversiez un bâtiment dont le sol est couvert de billets d'un dollar. Passeriez-vous votre chemin tranquillement ? La plupart des gens feraient certainement un petit effort pour se baisser et ramasser l'argent. Mais ce n'est pas le cas pour la chaleur excédentaire : nous jetons littéralement l'argent par les fenêtres en ne faisant aucun effort pour réutiliser la chaleur excédentaire dans nos bâtiments et nos industries.

Chaque fois qu'un moteur tourne, il génère de la chaleur. Quiconque a déjà senti la chaleur à l'arrière de son réfrigérateur peut le confirmer. Il en va de même à plus grande échelle dans les supermarchés. Le maintien de la fraîcheur des aliments dans les vitrines de refroidissement et les congélateurs génère d'importantes quantités de chaleur excédentaire. Un processus similaire s'applique pour le refroidissement des milliers de centres de données qui se multiplient dans le monde. Cette chaleur excédentaire est actuellement libérée dans l'air sans qu'aucun effort ne soit fait pour la réutiliser. Examinons de plus près cette ressource d'énergie cachée.

Données et méthodologie

En général, il y a un manque d'informations globales sur le potentiel de la chaleur excédentaire des différents secteurs. Cependant, nous savons qu'à l'heure actuelle, très peu de la chaleur excédentaire existante, qu'elle provienne de sources conventionnelles et non conventionnelles, est récupérée et utilisée dans des applications à grande échelle¹³. Certaines des meilleures données sur les sources globales de chaleur excédentaire sont établies par des experts de l'Université d'Aalborg et de l'Université de Halmstad et couvrent la chaleur

excédentaire provenant de plusieurs sources dans l'UE. Ci-après, nous utilisons les chiffres issus des rapports « Accessible urban waste heat » (La chaleur résiduelle urbaine accessible)¹⁴ et « Excess heat potentials of industrial sites in Europe » (Le potentiel de la chaleur excédentaire des sites industriels en Europe)¹⁵.

Les chiffres présentés doivent être considérés comme des estimations. Sauf mention contraire, les estimations concernent la « chaleur excédentaire accessible », ce qui signifie que les chiffres tiennent compte du potentiel d'utilisation pratique de la chaleur excédentaire disponible¹⁶. En ce sens, les chiffres sont conservateurs car ils ne tiennent compte que des sources situées à quelques kilomètres des zones de chauffage urbain. Comme nous le verrons, il existe des moyens d'exploiter la chaleur excédentaire qui ne dépendent pas de ces réseaux, par exemple la récupération de chaleur sur site¹⁷. En outre, il convient de noter que la chaleur excédentaire se produit à différentes températures. À des températures plus élevées, généralement supérieures à 80 degrés, elle peut souvent être exploitée directement, tandis qu'à des températures plus basses, elle peut être renforcée par une pompe à chaleur¹⁸. Par conséquent, l'utilisation réelle du potentiel de la chaleur excédentaire dépend également, dans une certaine mesure, de l'électricité consommée par des technologies telles que les pompes à chaleur.

En ce qui concerne les villes et régions spécifiques, les chiffres sont calculés à l'aide de l'outil de planification, « The European Waste Heat Map » (La carte européenne de la chaleur résiduelle)¹⁹. Cet outil affiche la chaleur excédentaire dans l'UE27 et au Royaume-Uni provenant à la fois de sources industrielles conventionnelles et de sources non conventionnelles telles que les stations de métro, les installations de production alimentaire,

l'alimentation au détail et les installations de traitement des eaux usées. Les chiffres peuvent être considérés comme conservateurs, car l'outil n'affiche ni les bâtiments résidentiels et tertiaires, ni les centres de données. En outre, cet outil met également l'accent sur les sources situées à quelques kilomètres des zones urbaines, éliminant ainsi les endroits isolés.

Chaleur excédentaire accessible en Europe

Le chauffage est l'un des plus gros consommateurs d'énergie. En Europe, le chauffage représente plus de 50 % de la consommation d'énergie finale annuelle et la plupart des sources de chaleur européennes restent produites à partir de combustibles fossiles, dont le gaz naturel dans près de la moitié des cas²⁰. Dans le même temps, toutes les zones urbaines d'Europe ont accès à de nombreuses ressources de chaleur excédentaire. Environ 2 860 TWh/an de chaleur résiduelle sont accessibles dans l'UE, dont une grande partie pourrait

être réutilisée²¹. Pour mettre ce chiffre en perspective, cela correspond presque à la demande énergétique totale de l'UE pour le chauffage et l'eau chaude dans les bâtiments résidentiels et tertiaires, soit environ 3 180 TWh par an dans l'UE27 et au Royaume-Uni²².

Dans certains pays, le potentiel de la chaleur excédentaire correspond à la demande en chaleur²³. Par exemple, aux Pays-Bas, la chaleur excédentaire s'élève à 156 TWh/an²⁴ tandis que les besoins en chauffage pour l'eau et les espaces ne sont que de 152 TWh/an²⁵.

Il en va de même ou presque dans le reste du monde. Par exemple, la chaleur excédentaire du secteur industriel au nord de la Chine est d'environ 813 TWh, juste pour la période de chauffage²⁶ imaginez à combien s'élève la quantité totale de chaleur excédentaire de tous les secteurs en Chine !

Examinons de plus près le potentiel de la chaleur excédentaire.



La chaleur excédentaire peut accélérer la décarbonation du secteur industriel

Le secteur industriel représente 39 % de toutes les émissions de carbone mondiales liées à l'énergie²⁷ et, avec sa vitesse d'amélioration actuelle de l'efficacité énergétique de 1 % par an, il n'est pas sur la bonne voie pour atteindre la neutralité carbone qui nécessiterait une amélioration de 3 %²⁸. Le défi structurel pour les usines du monde entier est de répondre à la demande croissante de production tout en réduisant les émissions. La crise énergétique actuelle a soumis le secteur industriel à une forte pression, car la part des coûts énergétiques pour la production a augmenté de manière significative.

Paradoxalement, les progrès en matière d'efficacité ralentissent dans le secteur industriel. De 2015 à 2020, le taux d'amélioration de l'énergie nécessaire à la production d'un dollar américain de valeur industrielle est passé de près de 2 % par an en 2010-15 à un peu moins de 1 %²⁹. Le secteur industriel doit améliorer son efficacité énergétique à un taux de 3 % par an pour atteindre la neutralité carbone³⁰. Les progrès globaux en matière d'efficacité énergétique resteront bloqués si la forte demande industrielle en énergie persiste sans amélioration majeure de l'efficacité énergétique industrielle.³¹

La bonne nouvelle est qu'il existe un énorme potentiel inexploité pour le secteur industriel, à savoir l'utilisation de sa chaleur excédentaire. Si l'on regarde l'Union Européenne, les sites industriels constituent la principale source de chaleur excédentaire. La chaleur excédentaire des sites de l'industrie lourde dans l'UE s'élève à plus de 267 TWh par an³². Pour mettre ce chiffre en perspective, cela représente plus que la production combinée de chaleur de l'Allemagne, de la Pologne et de la Suède en 2021³³. Si nous nous concentrons uniquement sur les sources de chaleur résiduelle supérieures à 95 °C et situées

à moins de 10 km de l'infrastructure de chauffage urbain existante, le potentiel est déjà de 64 TWh. Cela correspond à 12 % de l'énergie fournie annuellement à l'infrastructure de chauffage collectif de l'UE³⁴.

Le potentiel est également frappant lorsque l'on analyse des zones urbaines spécifiques. Prenons Essen dans la Ruhr, en Allemagne. Les zones urbaines autour d'Essen comportent environ 50 sites industriels qui produisent 11,98 TWh de chaleur excédentaire chaque année. Cela correspond à peu près à la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer 1 200 000 foyers, soit près de la moitié des foyers de la région.

Trois industries – le ciment, les produits chimiques et l'acier – représentent près de 60 % de la demande énergétique industrielle dans le monde. Les économies émergentes et en développement, en particulier la Chine, représentent 70 à 90 % de la production de ces matières premières³⁵. Ces industries lourdes offrent un grand potentiel en termes d'efficacité, car la chaleur excédentaire qu'elles génèrent est à des températures très élevées et donc facile à réutiliser.

Le secteur industriel, qui n'est actuellement pas sur la bonne voie pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, a la capacité de changer la donne en matière d'efficacité énergétique mondiale en réutilisant la chaleur excédentaire. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant, l'industrie peut réutiliser la chaleur excédentaire de plusieurs manières. Par exemple, elle peut la réutiliser pour fournir de la chaleur et de l'eau chaude à une usine ou être exportée vers les maisons et les industries voisines par le biais d'un réseau énergétique local et urbain.



Excellents résultats en Chine grâce à la réutilisation de la chaleur excédentaire

Benxi en Chine

Depuis 2015, la ville de Benxi réutilise progressivement les ressources de chaleur résiduelle provenant de l'industrie sidérurgique. Grâce à l'intégration sectorielle, la chaleur résiduelle émanant des processus de production de l'acier est réutilisée pour chauffer la ville. Ces initiatives ont permis de réduire considérablement la consommation annuelle totale de charbon de la ville, de réduire les factures d'énergie et d'améliorer considérablement la qualité de l'air.

Usines Danfoss en Chine

Depuis 2018, les usines Danfoss d'Haiyan et Wuqing œuvrent pour récupérer la chaleur excédentaire des processus de ventilation et de refroidissement. Malgré une augmentation de 22 % du chiffre d'affaires, la consommation d'énergie pour le chauffage dans les usines a diminué de 7 %, ce qui a entraîné une amélioration de la productivité énergétique de 24 % en 3 ans. Les projets de récupération de chaleur ont contribué à environ 15 % de ces résultats. La chaleur récupérée a permis d'économiser plus de 300 000 euros sur les factures d'énergie de l'année 2021.

Les sources de chaleur excédentaire multiples dans les zones urbaines

Historiquement, la chaleur excédentaire issue des centrales électriques et des aciéries était réutilisée en raison des températures très élevées. Mais, avec l'évolution de la technologie, de nombreuses autres sources produisant une chaleur excédentaire à basse température sont devenues réutilisables, comme nous le verrons dans le chapitre suivant. Alors que les sites industriels sont la principale source de chaleur excédentaire, les grandes villes sans industrie ont également de nombreuses sources de chaleur excédentaire qui représentent une quantité considérable d'énergie.

Prenons le cas des centres de données. Les données sont au cœur de l'économie numérique mondiale d'aujourd'hui. Elles sont le pilier du flux d'informations dans les villes et alimentent un éventail d'activités allant des infrastructures et des transports à la vente au détail et à la fabrication. Les centres de données consomment également beaucoup d'électricité. En 2020, les centres de données de l'UE27 et du Royaume-Uni ont consommé 100 TWh d'électricité, soit environ 3,5 % de la demande finale d'électricité de la région³⁶. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), les centres de données et les réseaux de transmission de données représentent près de 1 % de toutes les émissions mondiales de gaz à effet de serre liées à l'énergie³⁷. Les estimations conservatrices de 2020 recensaient 1 269 centres de données dans l'UE27 et au Royaume-Uni, pour un total de 95 TWh de chaleur excédentaire accessible chaque année³⁸.

Il en est de même pour les supermarchés. Les supermarchés font partie intégrante des communautés du monde entier. Ils consomment également beaucoup d'énergie. En moyenne, les supermarchés consomment environ 3 à 4 % de la production annuelle d'électricité des pays industrialisés³⁹.

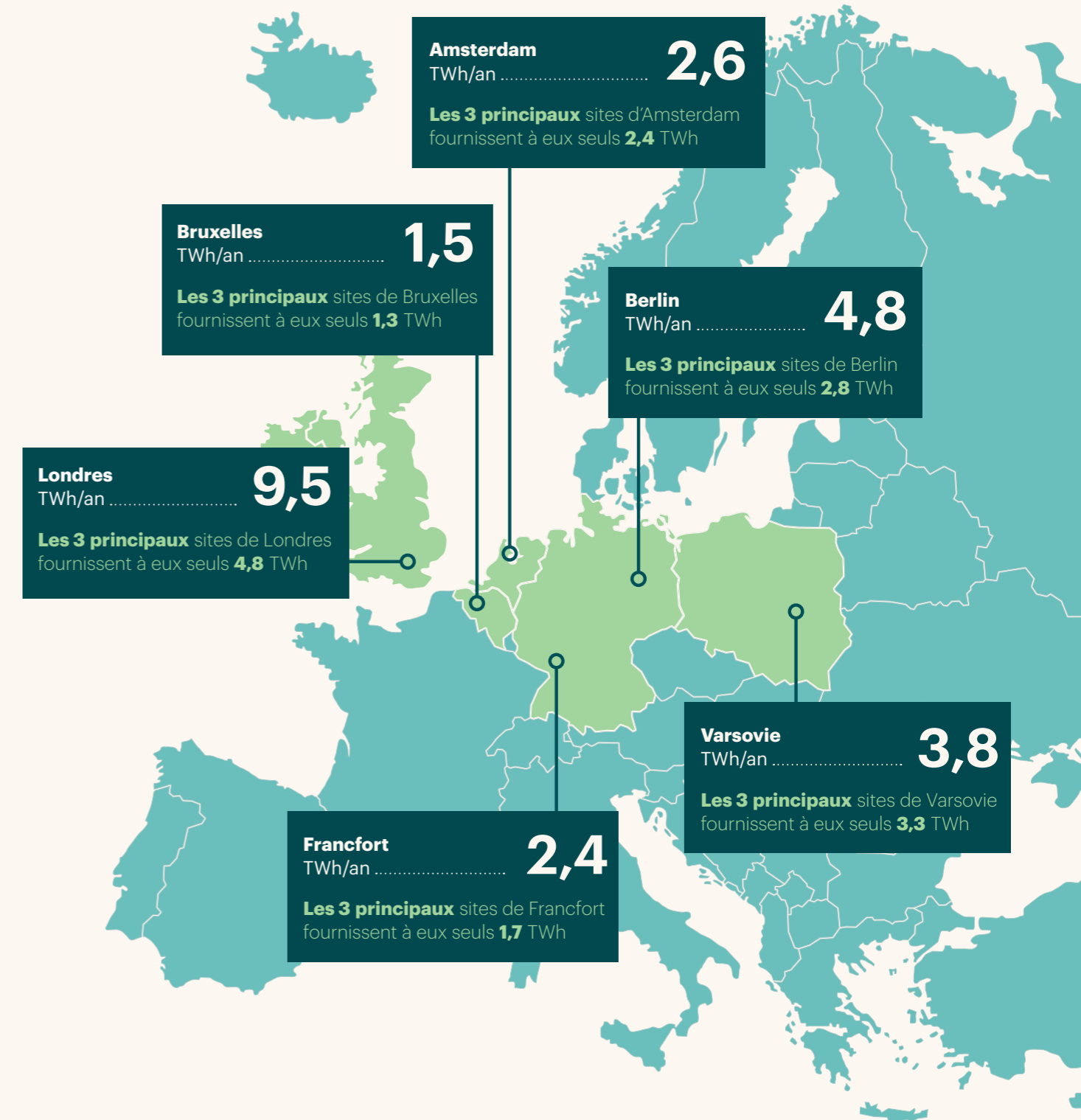
Dans l'UE, le potentiel de chaleur excédentaire provenant de l'alimentation au détail est de 44 TWh par an⁴⁰. Bien que cela soit nettement inférieur à la chaleur excédentaire issue des sites industriels, ce chiffre équivaut à la chaleur générée par la République tchèque et la Belgique en 2021⁴¹. De plus, la chaleur excédentaire des supermarchés peut être très facilement exploitée et réutilisée dans les supermarchés eux-mêmes afin de chauffer l'espace ou fournir de l'eau chaude. Il suffit que les propriétaires de supermarchés déploient des technologies existantes et éprouvées. Comme le montre l'étude de cas sur les supermarchés, cela pourrait même contribuer à des économies significatives sur la facture d'énergie, un besoin encore plus crucial dans la crise énergétique actuelle.

Les installations de traitement des eaux usées sont une autre source considérable de chaleur excédentaire, avec un potentiel dans toute l'UE de 318 TWh de chaleur résiduelle accessible chaque année. Bien que ces sources de chaleur excédentaire ne soient pas aussi importantes que la chaleur excédentaire issue des sites industriels, ensemble elles peuvent couvrir une quantité considérable de consommation d'énergie dans les zones urbaines.

Prenons par exemple le cas du Grand Londres⁴². La zone compte 648 sources de chaleur excédentaire éligibles, notamment des centres de données, des stations de métro, des supermarchés, des usines de traitement des eaux usées et des installations de production alimentaire. La chaleur excédentaire provenant de ces sources s'élève à 9,5 TWh par an, soit environ la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer 790 000 foyers. Les trois principaux sites pourraient à eux seuls fournir 4,8 TWh de chaleur par an.

La carte ci-dessous présente le potentiel de chaleur excédentaire de certaines villes de l'UE.

En moyenne, 78,8 % de la chaleur excédentaire représentée ci-dessous peut provenir des 3 principaux sites des villes.



Comment peut-on utiliser la chaleur excédentaire ?

Des solutions existent

La chaleur excédentaire présente de nombreux avantages. L'augmentation de l'utilisation de la chaleur excédentaire réduira la demande énergétique globale, ce qui, à son tour, réduira les coûts pour les consommateurs et les entreprises. Cela donnera à l'économie un coup de pouce en termes de productivité, car il est plus économique de réutiliser l'énergie que de l'acheter ou de la produire. L'utilisation de la chaleur excédentaire est une alternative plus écologique que la plupart des autres sources d'énergie et, par définition, c'est l'efficacité énergétique dans sa forme la plus pure. En outre, la chaleur excédentaire peut contribuer à stabiliser le réseau électrique, car il s'agit d'une alternative aux vecteurs énergétique à haute valeur ajoutée tels que l'électricité.

Il existe plusieurs façons d'utiliser la chaleur excédentaire. De manière générale, les possibilités vont de solutions très simples qui utilisent la chaleur excédentaire comme chauffage au sein de la même unité à des solutions très avancées en termes de chauffage urbain. Examinons les options de plus près.

1. Réutiliser la chaleur excédentaire au sein de la même entité

La chaleur excédentaire se produit à plusieurs endroits. Chaque fois que de l'énergie est utilisée, un potentiel de chaleur excédentaire existe. Plus spécifiquement, la chaleur excédentaire se trouve souvent dans les processus de fabrication ou dans

les processus de chauffage, de refroidissement, de congélation et de combustion.

La manière la plus simple d'utiliser la chaleur excédentaire est de réintégrer la chaleur dans les mêmes processus (voir par exemple le cas du supermarché). La température de la chaleur excédentaire variera en fonction du processus dont elle résulte. Par exemple, la chaleur excédentaire issue des industries lourdes, comme celles des produits chimiques et du ciment, a une température beaucoup plus élevée que la chaleur excédentaire provenant du refroidissement dans les bâtiments. Selon la température de la chaleur excédentaire, cette dernière peut être utilisée à différentes fins. En règle générale, la chaleur excédentaire à haute température peut être utilisée à la fois pour les processus industriels et à des fins domestiques, tandis que les basses températures conviennent aux utilisations domestiques (par exemple, le chauffage de l'espace et de l'eau).

L'une des façons d'utiliser la chaleur résiduelle en interne est d'installer un dispositif de récupération de chaleur. Un système de récupération de chaleur vaut la peine d'être envisagé dans presque tous les cas où l'énergie thermique inutilisée est produite en tant que « déchet » afin d'augmenter les performances de l'installation dans son ensemble. Les dispositifs de récupération de chaleur permettent d'utiliser la chaleur résiduelle pour des processus à un niveau de température similaire ou plus bas. Comme le montre le cas du supermarché, la chaleur excédentaire peut être utilisée pour chauffer le magasin et produire de l'eau chaude.

Cas : réutilisation de la chaleur excédentaire dans les supermarchés



Le maintien de la fraîcheur des aliments dans les vitrines de refroidissement et les congélateurs représente une grande partie de la consommation d'énergie d'un supermarché. Cela peut sembler contre-intuitif, mais les vitrines de refroidissement, les congélateurs et les réfrigérateurs produisent une quantité importante de chaleur. Quiconque a déjà senti la chaleur à l'arrière de son réfrigérateur peut le confirmer. Ces systèmes de refroidissement génèrent des quantités importantes de chaleur excédentaire, qui sont souvent libérées directement dans l'atmosphère et perdues.

Dans une petite ville du sud du Danemark, le supermarché local SuperBrugsen a économisé une quantité considérable d'énergie en réutilisant et en vendant la chaleur excédentaire des systèmes de refroidissement.

Depuis 2019, 78 % de la consommation de chaleur de SuperBrugsen est couverte par la chaleur réutilisée depuis les processus de refroidissement. Et le supermarché a vendu 133,7 MWh à d'autres bâtiments locaux via le réseau de chauffage urbain.

Trois initiatives interdépendantes ont conduit aux résultats :

Premièrement, le supermarché est passé de réfrigérants chimiques à un réfrigérant naturel, à savoir le CO₂, qui présente de très bonnes propriétés de récupération de chaleur.

Deuxièmement, un système de récupération de chaleur a été installé à SuperBrugsen pour récupérer la chaleur résiduelle des systèmes de réfrigération au CO₂. La chaleur récupérée est réutilisée pour chauffer le magasin et produire l'eau chaude.

Troisièmement, SuperBrugsen applique des programmes d'efficacité énergétique pour garantir des performances durables. Les systèmes de refroidissement sont surveillés, les paramètres techniques sont ajustés et l'entretien régulier a permis d'améliorer l'efficacité énergétique et de réduire davantage la consommation d'énergie.

2. Intégration sectorielle et urbanisme intelligent

L'intégration sectorielle ou le couplage sectoriel désigne le processus d'optimisation de la combinaison d'au moins deux secteurs différents de la demande et de la production énergétiques (c'est-à-dire l'électricité, le chauffage, le refroidissement, le transport et les procédés industriels). L'intégration sectorielle consiste à maximiser les synergies entre les secteurs, à convertir et à stocker l'énergie. Cela peut se produire à petite échelle par le biais de l'urbanisme ou à plus grande échelle par le biais des réseaux d'énergie collective (voir ci-dessous). L'urbanisme peut tirer parti du potentiel de l'intégration sectorielle et de la chaleur excédentaire en connectant les producteurs d'énergie avec les consommateurs d'énergie par le biais d'un réseau intelligent. De grandes synergies peuvent survenir lorsqu'un producteur de chaleur excédentaire, par exemple un centre de données, est situé à proximité d'entités qui peuvent acheter et utiliser de grandes quantités de chaleur excédentaire (par exemple, l'horticulture). L'étude des possibilités de telles synergies entre les producteurs d'énergie et les utilisateurs dans l'urbanisme s'appelle la planification des grappes industrielles et contribue à la décarbonation de notre système énergétique. En outre, la collaboration entre les entreprises voisines a montré qu'elle apportait des avantages économiques à la fois à l'acheteur et au vendeur.

3. Énergie collective

Dans de nombreuses parties du monde, les réseaux énergétiques locaux et urbains alimentent les maisons et les entreprises en chauffage et en refroidissement. L'énergie collective est un système collectif qui alimente toute une zone en chauffage ou en refroidissement. Le réseau de chauffage urbain exploite la chaleur provenant d'une combinaison de sources, telles que les ressources renouvelables (solaire, géothermique et biomasse) et les ressources fossiles, telles que les centrales électriques, et la distribue par le biais de conduites aux utilisateurs finaux sous forme d'eau chauffée. Aujourd'hui, la majorité de la production mondiale de la chaleur collective repose sur des combustibles fossiles. Selon l'AIE, le monde doit doubler la part de ressources écologiques dans le chauffage urbain d'ici 2030 pour atteindre la neutralité carbone⁴⁸.

Si nous y parvenons, cela contribuera à réduire de plus d'un tiers les émissions de carbone liées à la production de chaleur.

Les réseaux énergétiques locaux et urbains permettent aujourd'hui un approvisionnement en chaleur écologique. L'un des principaux points forts des réseaux énergétiques locaux et urbains est leur capacité à intégrer différentes sources de chaleur qui peuvent remplacer les combustibles fossiles pour le chauffage et le refroidissement. Avec l'évolution de la technologie de l'énergie collective, de plus en plus de sources de chaleur écologiques peuvent être exploitées dans le système. Aujourd'hui, le système de chauffage collectif dit de 4ème génération permet d'intégrer des sources de chaleur à très basse température dans le réseau énergétique local et urbain et de fournir du chauffage pour les nouveaux bâtiments qui peuvent fonctionner à basse température. Le fait que de plus en plus de sources d'énergie écologiques puissent être utilisées pour le chauffage et le refroidissement urbains place les réseaux énergétiques locaux et urbains au centre de la transition écologique.

Un autre avantage crucial du chauffage collectif est qu'il favorise l'équilibrage du réseau. L'un des principaux défis pour décarboner notre réseau et augmenter l'électrification est de s'assurer que l'offre s'adapte à la demande. En considérant le système énergétique de manière globale et en reliant différentes sources d'énergie, l'énergie collective permet une utilisation flexible de l'énergie. Cela permet de compenser les écarts entre l'offre et la demande afin que nous puissions exploiter toute la capacité du réseau. Équilibrer les pics sera particulièrement important à mesure que nous augmenterons l'utilisation des énergies renouvelables et que l'électrification prendra de l'ampleur.

Il existe d'importants réseaux énergétiques locaux et urbains en Chine et en Europe, et d'autres devraient voir le jour. Le Danemark est l'un des pays les plus écoénergétiques au monde, principalement en raison de l'utilisation répandue du chauffage urbain. Au Danemark, 65 % des bâtiments couvrent leur demande de chauffage avec le chauffage urbain et plus de la moitié de la chaleur provient de sources écologiques telles que les déchets, la biomasse et la chaleur excédentaire provenant de divers processus commerciaux⁴⁹.

Cas : le potentiel de la chaleur excédentaire des centres de données



Les données sont au cœur de l'économie numérique mondiale d'aujourd'hui. Elles sont le pilier du flux d'informations et alimentent un éventail d'activités allant des infrastructures et des transports à la vente au détail et à la fabrication. Selon l'AIE, en 2021, les centres de données ont consommé 220-320 TWh d'électricité, ce qui représente environ 0,9-1,3 % de la demande mondiale finale en électricité⁴³ et plus que la consommation électrique de certains pays⁴⁴.

Les centres de données sont également des producteurs importants de chaleur excédentaire. Les serveurs d'un centre de données génèrent une chaleur équivalente à leur consommation électrique et le refroidissement nécessaire de ces machines produit également beaucoup de chaleur excédentaire. Par rapport à d'autres sources de chaleur excédentaire, celle des centres de données est ininterrompue et constitue donc une source d'énergie propre très fiable. Il existe de nombreux exemples où la chaleur excédentaire des centres de données peut être réutilisée pour chauffer des bâtiments voisins par le biais d'un microréseau. Elle peut également être exportée vers le réseau d'énergie collective et utilisée à des fins multiples.

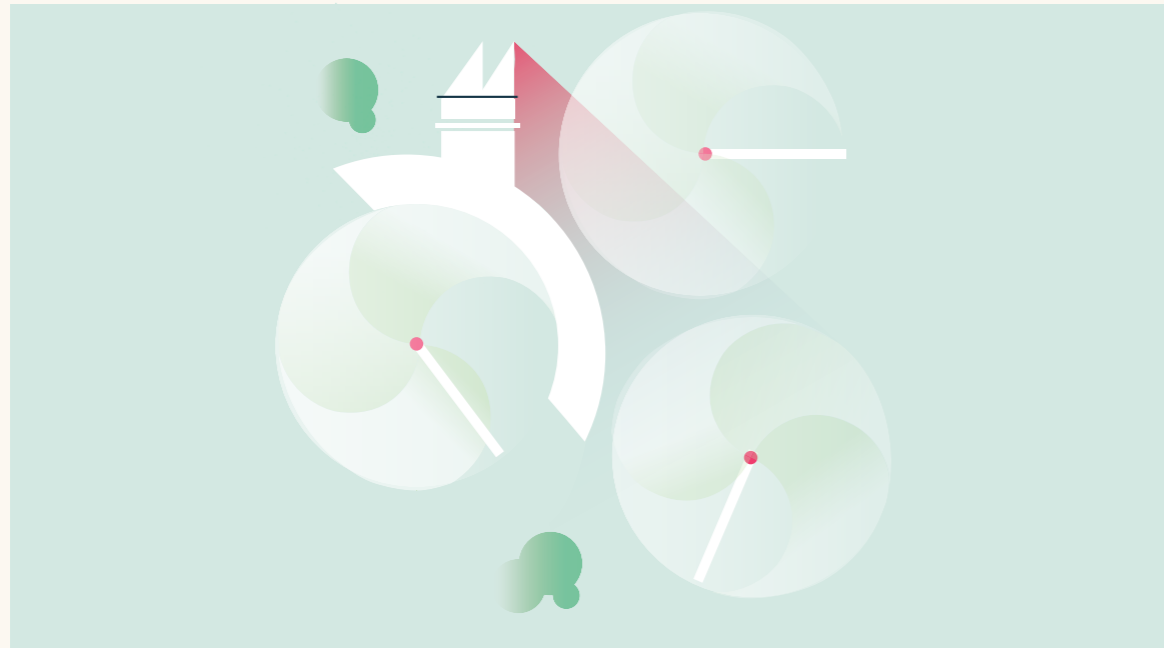
Dans la ville de Francfort-sur-le-Main, plusieurs projets sont en cours afin d'aider la ville à extraire la chaleur excédentaire issue des centres de

données et à l'utiliser pour répondre à l'ensemble de sa demande en chaleur des foyers et bureaux privés. D'un point de vue mathématique, il a été estimé que la chaleur résiduelle des centres de données de Francfort pourrait, d'ici 2030, couvrir l'ensemble de la demande en chaleur des ménages privés et des immeubles de bureaux dans la ville⁴⁵.

À Dublin, Amazon Web Services a construit la première solution durable sur mesure d'Irlande pour fournir de la chaleur à faible émission de carbone à une banlieue de Dublin en pleine croissance. Le centre de données récemment achevé fournira de la chaleur pour 47 000 m² de bâtiments du secteur public. Il fournira également de la chaleur pour 3 000 m² d'espace commercial et 135 appartements à loyer modéré⁴⁶.

En Norvège, un centre de données a été installé avec la première ferme d'élevage de homards terrestre au monde. L'entreprise de co-localisation utilise une solution de refroidissement basée sur l'eau du fjord pour refroidir son centre de données. L'eau de mer entre dans l'installation à 8 °C puis retourne dans le fjord à 20 °C, température idéale pour la croissance optimale des homards. Une nouvelle installation de production pourra ainsi être construite à proximité immédiate du centre de données, ce qui lui permettra d'utiliser l'eau de mer chauffée pour l'élevage de homards⁴⁷.

Cas : les stations d'épuration en tant que producteurs d'énergie



Selon l'AIE, le secteur mondial de l'eau utilise environ 120 Mtep par an, soit presque l'équivalent de la consommation énergétique totale de l'Australie⁵⁰. Si nous n'agissons pas, la consommation énergétique mondiale liée à l'eau augmentera de 50 % d'ici 2030⁵¹.

Le potentiel d'économies d'énergie est considérable dans le secteur de l'eau si tous les potentiels d'efficacité énergétique économiquement disponibles sont exploités, notamment en ce qui concerne l'utilisation de l'énergie excédentaire.

Les eaux usées contiennent d'importantes quantités d'énergie intégrée. Les boues peuvent être extraites des eaux usées et pompées dans des digesteurs. Ceux-ci produisent du biogaz, principalement du méthane, qui peut ensuite être brûlé pour produire de la chaleur et de l'électricité. Par conséquent, les installations de traitement des eaux usées ont le potentiel de passer du statut de consommateur d'énergie à celui de producteur d'énergie.

À Aarhus, au Danemark, la station d'épuration de Marselisborg produit beaucoup plus d'énergie que ce dont elle a besoin pour traiter les eaux usées des 200 000 personnes qu'elle dessert.

En réalité, la station d'épuration de Marselisborg produit suffisamment d'énergie pour également couvrir la demande en eau potable. La station d'épuration de Marselisborg offre un chemin vers un secteur de l'eau neutre en énergie et montre comment découpler l'énergie de l'eau. La station d'épuration de Marselisborg produit suffisamment d'énergie pour couvrir l'ensemble du cycle de l'eau d'une zone urbaine de 200 000 habitants, le tout avec un retour sur investissement estimé à 4,8 ans.

En outre, la chaleur excédentaire issue des installations de traitement des eaux usées peut chauffer les bâtiments et les industries grâce aux réseaux énergétiques locaux et urbains.

Le recyclage de la chaleur n'est pas seulement une mesure négligée dans la crise énergétique actuelle, elle est aussi la prochaine frontière vers la transition écologique

Politique

Recommandations



De nombreux pays et de nombreuses villes sont prêts à exploiter l'énergie résiduelle cachée. Notamment ceux et celles qui ont une forte demande énergétique, un réseau énergétique local et urbain et de grandes sources de chaleur excédentaire. À l'heure de l'explosion des prix de l'énergie, de la pénurie de gaz et de la crise climatique, le fait que les décideurs de tout le continent ne tirent pas parti de la chaleur excédentaire constituerait une défaillance politique d'une proportion immense. De plus, le rôle de la chaleur excédentaire dans le futur système énergétique ne fera qu'augmenter. La technologie permettant d'utiliser la chaleur excédentaire à basse température (par exemple, le chauffage collectif de 4ème génération) est en train de mûrir et, dans le futur système énergétique, les sources de chaleur excédentaire telles que les installations Power-to-X vont augmenter de manière considérable. Il est essentiel que les décideurs soient conscients de ce potentiel lorsqu'ils mènent une planification urbaine et conçoivent le cadre financier et réglementaire du futur marché de l'énergie.



Réguler. En général, la chaleur excédentaire doit être considérée comme une ressource énergétique et non comme un déchet à éliminer. Aujourd'hui, un certain nombre d'obstacles empêchent les acteurs du marché d'exploiter le potentiel de réutilisation de la chaleur excédentaire. La réglementation peut éliminer ces obstacles, par exemple en favorisant un traitement équitable de la chaleur résiduelle et des sources d'énergie renouvelables utilisées dans les réseaux de chaleur. La réglementation peut également pousser à une utilisation accrue de l'énergie résiduelle en obligeant les entités telles que les centres de données ou les industries à élaborer un plan d'exploitation de la chaleur excédentaire.

D'une manière générale, la planification obligatoire du chauffage permettra aux villes européennes d'évaluer le potentiel et de tirer le meilleur parti des ressources disponibles au niveau local. Par exemple, au Danemark, les municipalités ont été invitées à cartographier la demande en chaleur existante, la méthode d'approvisionnement en chaleur existante et les quantités d'énergie utilisées. Elles ont également estimé les possibilités d'approvisionnement et de demande futures. Sur la base de ces informations, des plans énergétiques globaux ont été préparés pour afficher la priorité des options d'approvisionnement en chaleur dans une zone donnée et identifier les emplacements des futures unités et réseaux d'approvisionnement en chaleur. Selon le système énergétique existant, la planification énergétique peut révéler un potentiel à petite échelle (comme la formation des bonnes incitations à la récupération de chaleur ou le potentiel de cogénération de chauffage et d'électricité) ou révéler le potentiel d'opportunités à plus grande échelle telles que le déploiement du chauffage collectif.

Le champ d'application de la planification de la chaleur doit absolument être large et détaillé et inclure les sources potentielles futures de chaleur excédentaire, telles que les installations Power-to-X.



Aborder les incitations économiques. Pour améliorer davantage l'efficacité énergétique en utilisant l'énergie résiduelle, il est essentiel d'éliminer les obstacles financiers et législatifs. La conception actuelle du marché de l'énergie constitue, à de nombreux endroits, un obstacle aux technologies d'intégration sectorielle. Soit elle entrave la participation des technologies d'intégration sectorielle sur des marchés spécifiques, soit elle ne permet pas d'internaliser toutes les externalités positives et négatives des technologies à faible et à forte intensité de carbone. Il est essentiel que la législation fiscale soit en faveur de l'utilisation de la chaleur excédentaire et que des structures tarifaires de réseau appropriées soient envisagées. En outre, les barrières administratives doivent être supprimées pour inciter les utilisateurs à se raccorder aux réseaux de chauffage urbain, ce qui encouragera également les services publics de chauffage urbain à améliorer leurs performances.



Établir des partenariats. L'utilisation plus systématique de la chaleur excédentaire est, à la base, un exercice qui englobe tous les secteurs et toutes les parties prenantes. Les partenariats entre les autorités locales, les fournisseurs d'énergie et les sources d'énergie telles que les supermarchés, les centres de données, les installations de traitement des eaux usées et les industries peuvent aider à maximiser le plein potentiel de la chaleur excédentaire.

Références

1. Connolly, D., et al. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University, p. 54
2. Terrapin (2022). What Produces Waste Heat & How Can It Power Our Planet?
3. IEA (2022). The value of urgent action on energy efficiency, p. 7
4. IEA (2022). The value of urgent action on energy efficiency, p. 9
5. Connolly, D., et al. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University, p. 54
6. IEA (2022). The value of urgent action on energy efficiency, p. 9
7. IEA (2022). Renewable power's growth is being turbocharged as countries seek to strengthen energy security
8. IEA (2022). Never Too Early to Prepare for Next Winter: Europe's Gas Balance for 2023-2024, p. 3
9. Sgaravatti, G., Tagliapietra, S., Zachmann, G. (2021). National policies to shield consumers from rising energy prices, Bruegel Datasets
10. IEA (2022). Energy Efficiency, p. 22
11. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5be2fd8fb&appId=PPGMS>, p. 88
12. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5be2fd8fb&appId=PPGMS>, p. 34
13. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S., & Moreno, D. (2020). ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version), p. 19
14. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S., & Moreno, D. (2020). ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version)
15. Fleiter, T., et al. (2020). Documentation on excess heat potentials of industrial sites including open data file with selected potentials (Version 2). Zenodo
16. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S., & Moreno, D. (2020). ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version), p. 13
17. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S., & Moreno, D. (2020). ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version), p. 20
18. Nielsen S, Hansen K, Lund R, Moreno D. (2020). Unconventional Excess Heat Sources for District Heating in a National Energy System Context, p. 2
19. Moreno D., Nielsen S. & Persson U. (2022). The European Waste Heat Map. ReUseHeat project – Recovery of Urban Excess Heat
20. Euroheat & Power (2023). DHC Market Outlook, p. 3
21. Connolly, D., et al. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University, p. 54
22. Connolly, D., et al. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University
23. Heat demanded by residential and service sector buildings, also called “low-temperature heat demand”, according to 2015 data from the Heat Roadmap Europe 4. This demand doesn't cover industrial heat demand as required input temperatures are too high for excess heat recovery technologies.
24. <https://heatroadmap.eu/peta4/>
25. Heat Roadmaps – Heat Roadmap Europe
26. Luo, A., Fang, H., Xia, J., & Lin, B. (2017). Mapping potentials of low-grade industrial waste heat in Northern China. Resources, Conservation and Recycling, 125, 335-348
27. IEA (2022). The value of urgent action on energy efficiency, p. 8
28. IEA (2022). Energy Efficiency, p. 60
29. IEA (2022). Energy Efficiency, p. 26
30. IEA (2022). Energy Efficiency, p. 60
31. IEA (2022). Energy Efficiency, p. 21
32. Fleiter, T., et al. (2020). Documentation on excess heat potentials of industrial sites including open data file with selected potentials (Version 2). Zenodo, p. 59
33. <https://www.iea.org/countries/germany>, <https://www.iea.org/countries/poland>, <https://www.iea.org/countries/sweden>
34. Fleiter, T., et al. (2020). Documentation on excess heat potentials of industrial sites including open data file with selected potentials (Version 2). Zenodo, p. 71
35. IEA (2022). Energy Efficiency, p. 60
36. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S., & Moreno, D. (2020). ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version), p. 35
37. IEA (2022). Data Centres and Data Transmission Networks
38. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S., & Moreno, D. (2020). ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version), p. 36
39. European Commission (2016). SuperSmart – Expertise hub for a market uptake of energy-efficient supermarkets by awareness raising, knowledge transfer and pre-preparation of an EU Ecolabel, p. 11
40. Moreno D., Nielsen S. & Persson U. (2022). The European Waste Heat Map. ReUseHeat project – Recovery of Urban Excess Heat
41. <https://www.iea.org/countries/czech-republic> & <https://www.iea.org/countries/belgium>
42. Defined in this paper as the area within the M25.
43. IEA (2022). Data Centres and Data Transmission Networks
44. IEA (2022). Energy Statistics Data Browser
45. eco (2021). Data centres as Gamechangers for Urban Energy Supply: City of Frankfurt am Main Could Cover Most of its Heating Needs by 2030 with Waste Heat
46. DCD (2021). Heatworks breaks ground on AWS district heating scheme in Dublin, Ireland
47. Hatchery Feed Management (2021). Land-based lobster farming to use waste heat from data center
48. IEA (2022). District Heating
49. IEA (2022). District Heating
50. IEA (2018). World Energy Outlook 2018, p. 122
51. IEA (2018). World Energy Outlook 2018, p. 123

whyee.com

En savoir plus sur la manière dont les solutions d'efficacité énergétique peuvent accélérer la transition écologique.

