

CIRCULAR THERMALSM

RÉCUPÉRER LA CHALEUR RÉSIDUELLE ET
LA RÉUTILISER DANS LES PROCESSUS
INDUSTRIELS ET D'AUTRES APPLICATIONS



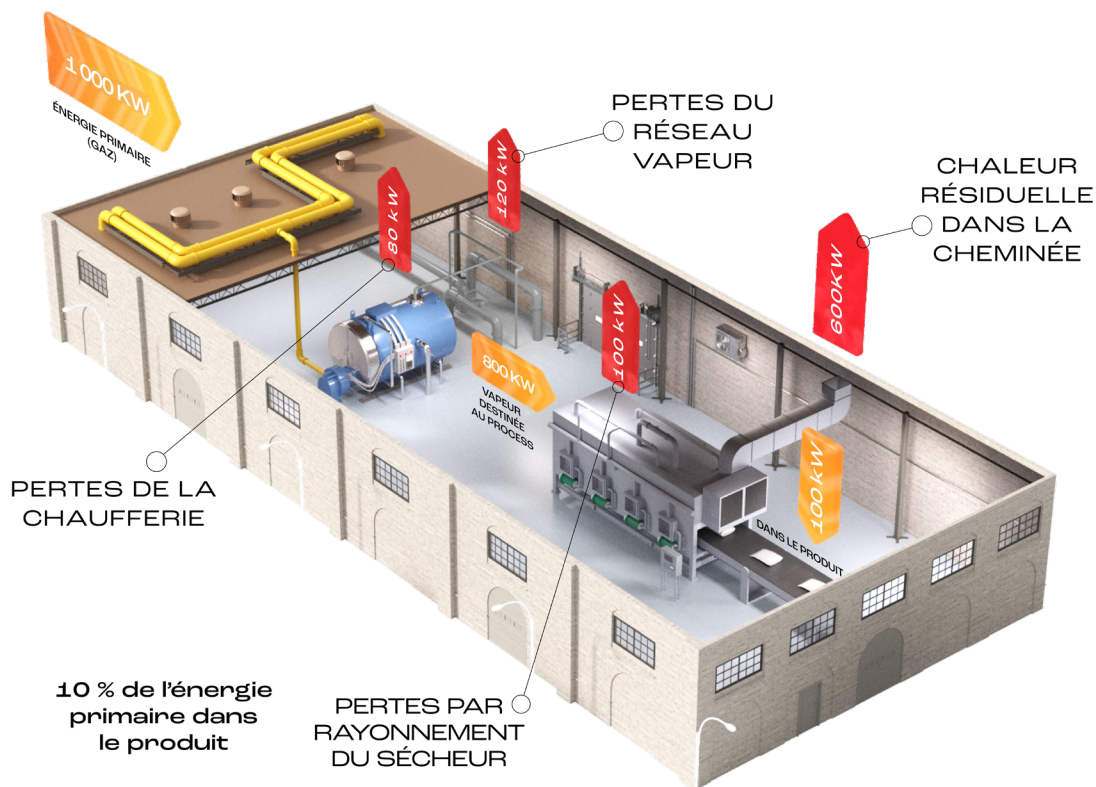
Armstrong[®]
EXPERIENCE MATTERS[™]

OÙ VA L'ÉNERGIE ?

Selon le premier principe de la thermodynamique, l'énergie ne peut être ni créée ni détruite : la quantité d'énergie dans un système reste stable. L'énergie utilisée est notamment transformée d'une forme en une autre. Toutefois, lors de ce processus, la qualité de l'énergie est dégradée. Si l'on suit ce principe, que l'énergie d'une usine est dégradée, mais non détruite, où va-t-elle donc ?

Actuellement, l'énergie primaire entre dans l'usine sous forme d'électricité et de combustibles fossiles, qui sont de plus en plus remplacés par des énergies renouvelables. Ces sources sont quantifiables : nous savons donc la quantité d'énergie primaire entrante. Dans une usine type, moins de 20 % de l'énergie entrante est utilisée pour les objets en mouvement (comme des moteurs qui convertissent l'électricité en énergie mécanique) ou pour éclairer les locaux. Pour des raisons d'efficacité énergétique, une partie de cette énergie est convertie en chaleur résiduelle qui vient réchauffer la température de l'air à l'intérieur des locaux. Est-ce que cela signifie que les 80 % restants de l'énergie primaire utilisés pour les installations thermiques sont transférés dans les produits fabriqués ? Dans la plupart des secteurs, seule une infime partie de l'énergie primaire est convertie en énergie chimique contenue dans le produit fini. De plus, les matériaux d'entrée utilisés dans la manufacture ont généralement la même température (souvent égale à la température ambiante) que les produits qui sortent de l'usine. En réalité, la majorité de l'énergie primaire devient de l'énergie résiduelle qui est souvent perdue par les cheminées, les tours de refroidissement et les eaux usées.

Système thermique standard (unidirectionnel) : un seul processus



CHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT DANS L'INDUSTRIE

Les séquences de chauffage et de refroidissement sont le fondement des processus industriels. Les usines sont conçues pour faciliter la circulation des produits, et les chauffages et refroidissements qui interviennent à différentes étapes du processus se compensent souvent les uns et les autres, du point de vue énergétique.

REFROIDISSEMENT

Le refroidissement consiste à extraire la chaleur d'un fluide. L'énergie ainsi extraite est généralement perdue dans les tours de refroidissement, qui libèrent la chaleur et la vapeur d'eau dans l'atmosphère. La quantité d'énergie extraite lors du processus de refroidissement peut représenter jusqu'à un tiers des besoins en chauffage de l'usine, parfois plus.

L'exemple le plus représentatif est celui d'un compresseur à air : jusqu'à 90 % de l'électricité entrante sont convertis en chaleur résiduelle lors du refroidissement du compresseur. En fonction de l'humidité de l'air, sa condensation produit davantage de chaleur résiduelle, qui représente entre 5 et 20 % de l'électricité entrante du compresseur. Si l'on ajoute les deux phénomènes, la chaleur résiduelle peut représenter plus de 100 % de l'électricité utilisée par le compresseur.

La chaleur résiduelle du refroidissement présentant le plus grand potentiel est produite dans les usines de surgélation de crème glacée, d'aliments surgelés et d'autres produits qui sortent de l'usine avec une température inférieure à celle des produits bruts à leur entrée dans l'usine. Lors de l'extraction de la chaleur des produits, les usines génèrent un excédent important de chaleur résiduelle. Cette énergie pourrait non seulement couvrir les besoins thermiques de ces usines, mais aussi ceux des usines environnantes.

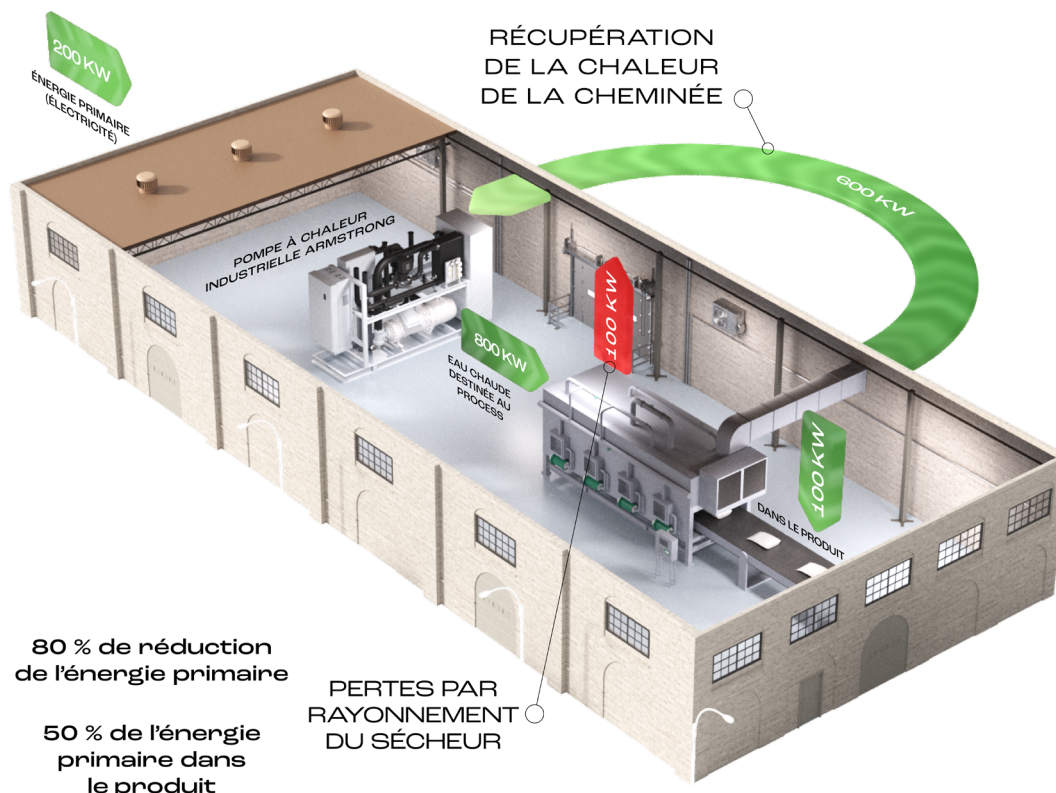
CHAUFFAGE

Les pertes d'énergie lors du chauffage sont provoquées par des dysfonctionnements des installations de génération et de distribution de l'énergie. L'efficacité d'un réseau vapeur type peine souvent à atteindre 60 %, et ne dépasse jamais 80 %. L'énergie restante est utilisée pour des tâches importantes, telles que le séchage des produits par évaporation de l'eau, le chauffage des produits pour déclencher une réaction chimique, le chauffage, l'humidification ou la déshumidification de l'air, ou encore le chauffage de l'eau pour le nettoyage. Mais que devient cette énergie-là ? Dans un sécheur, l'une des applications les plus répandues du chauffage dans l'industrie, jusqu'à 80 % de l'énergie est libérée dans l'atmosphère sous forme d'air très humide à faible température (inférieure à 80 °C ou 175 °F) par les cheminées. C'est aussi le cas dans la plupart des autres applications industrielles. Dans certains cas, comme dans les colonnes de distillation et les évaporateurs, l'énergie sortante doit même être refroidie.

NOTRE APPROCHE CIRCULAIRE

Bien que la qualité de l'énergie présente dans la chaleur résiduelle ait été dégradée, la quantité qu'elle contient reste très importante. Selon nos recherches, entre 50 et 80 % des énergies primaires utilisées dans l'industrie légère sortent de l'usine à des températures moyennes (inférieures à 200 °C ou 400 °F), voire faibles (inférieures à 90 °C ou 200 °F). Cela signifie qu'entre 50 et 80 % de ces énergies peuvent être réutilisées, mais aussi que les émissions de scope 1 associées peuvent être évitées. En instaurant une approche circulaire dans vos installations thermiques, vous pouvez récupérer ces énergies et la réinjecter dans vos processus.

Systeme Circular ThermalSM : un seul processus



Depuis plus de 40 ans, l'industrie lourde utilise l'intégration des processus ou le pincement pour optimiser le rendement thermique de leurs installations, en particulier grâce à la récupération de la chaleur directe. Cette méthode consiste à réorganiser les courants chauds et froids d'une usine afin de maximiser la récupération théorique de chaleur et de minimiser ses besoins énergétiques. L'organisation ainsi obtenue peut être adaptée aux réalités de chaque site en fonction des inconvénients connus. Dans l'industrie légère, les usines doivent ajouter un « réseau d'échangeurs de chaleur » pour récupérer la chaleur de qualité inférieure, la stocker, l'enrichir si nécessaire et la transférer dans les dissipateurs thermiques. Cette méthode permet aux usines industrielles de récupérer leur chaleur résiduelle, et de réduire significativement leur utilisation d'énergies primaires et leurs émissions de CO₂. Nous appelons ce procédé Circular ThermalSM.

CIRCULAR THERMALSM : AU CŒUR DE LA MÉTHODOLOGIE DE DÉCARBONISATION D'ARMSTRONG

La méthodologie de décarbonisation thermique développée par Armstrong comprend trois étapes : l'optimisation de l'efficacité du système thermique, la diminution des besoins énergétiques des processus et la décarbonisation des sources d'énergie primaire des usines. Circular ThermalSM est la méthode d'optimisation des systèmes offrant le plus grand impact et un bon retour sur investissement.

Étape une : optimiser l'efficacité du système thermique grâce à la récupération de la chaleur résiduelle

Alors que la théorie sur laquelle repose Circular ThermalSM est connue de longue date, elle a pourtant été ignorée maintes fois lors de nouvelles constructions d'usines industrielles, pour des raisons financières. Autrefois, les énergies fossiles étaient considérées comme abordables et abondantes, et peu d'industriels se souciaient des émissions de CO₂. C'est pourquoi concevoir et exploiter des systèmes thermiques unidirectionnels était une solution simple et pratique. Cette époque est désormais révolue. Aujourd'hui, l'énergie est un sujet géopolitique et représente un risque économique : les énergies fossiles sont de plus en plus coûteuses et parfois indisponibles, l'électricité renouvelable est de moins en moins chère et les émissions de CO₂ sont sanctionnées. Les avantages de Circular ThermalSM sont donc de plus en plus attractifs. Lorsque les énergies fossiles perdent leurs atouts, la récupération de la chaleur résiduelle est le moyen le plus économique de décarboner les systèmes thermiques.

Remplacement de la vapeur

Un réseau vapeur type génère et distribue la chaleur à 185 °C ou 365 °F (ce qui correspond à 10 barg ou 150 psig de vapeur saturée), même quand le processus nécessite une température de chauffage bien inférieure. Récupérer la chaleur résiduelle pour générer une vapeur basse pression, afin de la compresser pour obtenir une pression plus élevée, est techniquement possible. Cependant, si l'objectif final est de chauffer un produit à une température bien inférieure, l'usine aura utilisé trop d'énergie, en partie en raison des 20 % de pertes minimales inhérentes aux réseaux vapeur.

C'est pourquoi nous pensons que l'eau chaude est le meilleur fluide de chauffage jusqu'à 120 °C (250 °F) et qu'il faut remplacer les réseaux vapeur par de l'eau chaude ou des fluides à base de glycol pour optimiser la récupération de la chaleur résiduelle. En réduisant l'écart entre la génération et l'utilisation de la chaleur lors du processus, le remplacement de la vapeur optimise l'efficacité des systèmes. Forte de plus de cent ans d'expérience en matière de réseaux vapeur, Armstrong International vous recommande de remplacer la vapeur pour la chaleur de qualité inférieure.

En théorie, utiliser de l'eau chaude nécessite des surfaces d'échange de chaleur plus larges, car la chaleur sensible contient quatre à cinq fois moins d'énergie que la chaleur latente. Toutefois, en pratique, les échangeurs de chaleur à vapeur existants sont souvent surdimensionnés. C'est pourquoi doubler la surface d'échange de chaleur suffit largement, la plupart du temps. En remplaçant la vapeur, les usines évitent également les problèmes liés à la purge des condensats, fréquents lorsque la vapeur est utilisée pour le chauffage à moins de 100 °C (212 °F), qui crée un vide dans les échangeurs de chaleur.

Enfin, pour éviter les conduites d'eau trop longues, les sources de chaleur doivent être connectées à des dissipateurs thermiques à proximité. Cette conception décentralisée est inhérente aux systèmes Circular ThermalSM et s'oppose à la conception traditionnelle reposant sur une salle de chaufferie centrale et un réseau de distribution.

Pompes à chaleur

La chaleur résiduelle de haute qualité peut souvent être récupérée avec un simple échangeur de chaleur, même si cette solution est techniquement compliquée en raison de la contamination de l'air du processus libéré dans les cheminées. Néanmoins, la chaleur résiduelle est souvent disponible à des températures inférieures à celles exigées par le processus. Par conséquent, la chaleur de moindre qualité doit être transformée en chaleur de qualité moyenne. Cette transformation nécessite une quantité supplémentaire d'énergie de haute qualité (électricité) pour actionner les compresseurs de la pompe à chaleur, qui augmenteront la température de la chaleur résiduelle jusqu'au niveau requis.

La technologie des pompes à chaleur existe depuis 170 ans. Cette même technologie est utilisée dans les réfrigérateurs et les climatiseurs dans les foyers et les bureaux. L'avantage majeur des pompes à chaleur est le gain d'efficacité. L'électricité nécessaire au fonctionnement d'une pompe à chaleur représente seulement un quart à un tiers de la production totale de chaleur, et la quasi-totalité de cette électricité est finalement convertie en chaleur utile. Cependant, la majorité de l'énergie produite provient d'une chaleur de moindre qualité qui a été récupérée. Les pompes à chaleur sont souvent considérées comme des technologies d'électrification thermique, alors qu'elles sont principalement utilisées pour améliorer la qualité de la chaleur résiduelle dans l'industrie.

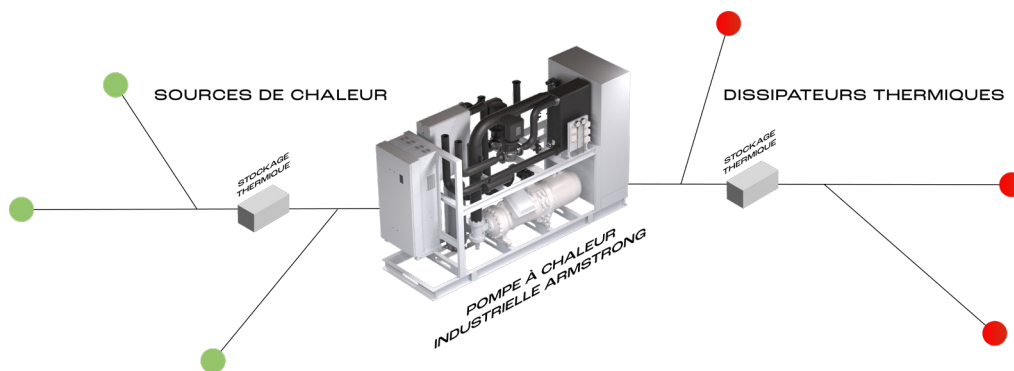
Les pompes à chaleur en circuit fermé sont désormais disponibles pour des capacités moyennes : entre 1,7 et 7 millions de BTU/heure par unité, entre 0,5 et 2 MW par unité. Ces pompes à chaleur utilisent une nouvelle génération de fluides frigorigènes, qui sont plus sûrs pour les utilisateurs, plus fiables (en raison d'une pression relativement faible dans le circuit) et ont un impact environnemental limité (PRG < 10 et dégradation des TFA < 2 %). Les pompes produisent des températures moyennes et permettent de récupérer la chaleur résiduelle de moindre qualité inférieure à 80 °C ou 176 °F (tout en produisant parfois, dans un second temps, un refroidissement utile) et d'élever la température de cette chaleur à 120 °C (250 °F), ce qui permet de générer une vapeur basse pression, si nécessaire.

Cette vapeur peut être utilisée pour l'injection directe, ou être traitée dans un compresseur afin d'en augmenter la pression et la température dans un système mécanique de recompression de la vapeur. Ces compresseurs requièrent environ 10 % d'injection d'eau. La vapeur supplémentaire compense les pertes par rayonnement et les fuites en aval du réseau vapeur. En récupérant le condensat et la vapeur de revaporisation en dehors des échangeurs de chaleur, et en les renvoyant à l'entrée de la pompe à chaleur haute température, il est possible de fermer et d'équilibrer le circuit.

Stockage

La chaleur résiduelle n'est pas toujours disponible au moment et à l'endroit où elle serait utile. C'est pourquoi il faut pouvoir rediriger et stocker la chaleur récupérée jusqu'à ce qu'elle soit utilisée dans le processus, généralement sous forme d'eau chaude ou avec des matériaux solides. Alors que certaines usines peuvent manquer de place, la technologie peut leur venir en aide pour résoudre ce problème.

Systeme Circular ThermalSM : plusieurs processus



Les configurations Circular ThermalSM offrent un système thermique plus dynamique, car la chaleur circule dans plusieurs directions dans les usines. La chaleur résiduelle récupérée est stockée puis transformée pour obtenir des températures plus ou moins élevées au moment le plus opportun ou quand l'électricité disponible est la moins chère, ce qui permet de mieux gérer la demande. Ces systèmes sont plus automatisés et exploitent des données en temps réel pour décider quel est le meilleur moment pour rediriger ou stocker la chaleur. Comme ils sont disponibles en tant que services, ils demandent moins de capitaux, permettent d'externaliser les risques et proposent diverses ressources pour s'adapter aux demandes en constante évolution.

Étape deux : diminuer les besoins énergétiques des processus

Le rapport entre la consommation électrique et la production de chaleur utile d'une pompe à chaleur est appelé coefficient de performance (COP). Il dépend de l'élévation de la température. C'est pour optimiser le COP que les usines cherchent à rapprocher le plus possible les températures des sources de chaleur et des dissipateurs thermiques. Quand une pompe à chaleur parvient à refroidir la source de chaleur et à chauffer le dissipateur (par exemple, lors d'un processus de distillation) sans consommer plus d'électricité, elle présente un meilleur coefficient de performance combiné (CCOP).

Beaucoup de processus étaient conçus pour des températures énergétiques plus élevées, qui sont assez simples à obtenir avec la vapeur. Cependant, si l'on analyse la température réelle de la vapeur dans l'échangeur de chaleur (après réduction de la pression par une vanne de régulation) ou si l'on identifie les besoins exacts de température des processus, il apparaît que la température nécessaire dans le dissipateur thermique est bien plus faible que l'on pense. C'est pourquoi le COP peut être amélioré sans influencer les conditions des processus ni la qualité des produits industriels.

Les pompes à chaleur qui produisent des températures de sortie plus faibles nécessitent moins d'électricité et présentent donc un meilleur COP. La diminution perpétuelle des coûts d'exploitation qui en résulte justifie les efforts fournis, même quand des dépenses en capital supplémentaires sont nécessaires (principalement pour remplacer la vapeur). Sur le long terme, il est possible de diminuer davantage les coûts d'exploitation en remplaçant les équipements vieillissants ou en fin de vie par de nouveaux équipements qui offrent une meilleure efficacité énergétique ou nécessitent des températures de chauffage plus faibles.

Parfois, le même travail utile peut être réalisé sans jamais utiliser de chaleur. C'est le cas pour la vapeur utilisée pour humidifier l'air dans les établissements de santé ou dans l'industrie pharmaceutique, notamment. Il est possible d'obtenir la même élévation de l'humidité de l'air avec des humidificateurs électriques ou adiabatiques. Ces humidificateurs n'utilisent pas moins d'énergie pour évaporer l'eau à la pression atmosphérique, mais ils permettent de remplacer la vapeur dans les unités de traitement de l'air. Ainsi, il n'est plus nécessaire d'utiliser de pompe à chaleur pour générer ou distribuer de la vapeur à température moyenne, ce qui permet d'augmenter le COP et d'éviter les pertes inhérentes au réseau vapeur.

Étape trois : décarboner les sources d'énergies primaires de l'usine

L'énergie primaire au cœur du fonctionnement des systèmes Circular ThermalSM est l'électricité, qui peut être décarbonée grâce au renouvelable. Le reste du système thermique peut être décarboné en passant à des énergies renouvelables telles que le biogaz, la biomasse, l'énergie solaire, l'hydrogène ou l'électrification directe. Il s'agit de la dernière étape de la méthode de décarbonisation thermique d'Armstrong.

Toutefois, la décarbonisation ne doit intervenir qu'après avoir épuisé toutes les options d'optimisation et de diminution. Passer d'un système thermique unidirectionnel (qui libère entre 50 et 80 % d'énergie primaire dans l'atmosphère sous forme de chaleur résiduelle) au renouvelable est une erreur. Cette approche génère un gaspillage d'énergies renouvelables qui restent rares et essentielles pour décarboner des applications difficilement décarbonables dans l'industrie lourde, les transports ou le bâtiment.

AVANTAGES SIGNIFICATIFS DE CIRCULAR THERMALSM

Une grande partie des énergies thermiques utilisées actuellement dans l'industrie peut être récupérée grâce à Circular ThermalSM. Cette méthode ne doit toutefois pas se limiter à une seule usine. Un nombre grandissant de zones industrielles adopte cette méthode pour générer des énergies et des matériaux, mais peine encore à partager et à transformer la chaleur résiduelle des usines industrielles, électrolyseurs à hydrogène, centres de données, bureaux et réseaux urbains environnants. Les progrès réalisés avec les conteneurs transportables de stockage thermique de matériaux solides permettent d'envisager des mouvements physiques de la chaleur résiduelle sur de plus grandes distances (idéalement, par des moyens de transport décarbonés). Les usines de l'industrie lourde disposant d'un excès de chaleur résiduelle de haute qualité peuvent le partager avec des usines de l'industrie légère ou avec un district situé à des dizaines de kilomètres de distance.

Potentiel pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments

La récupération et la réutilisation de la chaleur résiduelle peuvent être envisagées pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments. Cependant, l'application de Circular ThermalSM dans les bâtiments présente davantage de difficultés que dans l'industrie en raison d'un facteur de taille : le temps. Les applications industrielles nécessitent un chauffage et un refroidissement réguliers, au moins une fois par semaine, ce qui limite le dimensionnement du stockage thermique. Pour utiliser Circular ThermalSM afin de chauffer et refroidir les bâtiments, la chaleur devrait être stockée pour chaque saison et maintenue à une température à peu près constante sur une durée pouvant atteindre six mois. Ce genre de stockage thermique saisonnier n'est encore pas disponible sur le marché à un prix abordable et à un faible volume. S'il le devient un jour, le COP annuel moyen des pompes à chaleur utilisées pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments augmenterait significativement et la consommation annuelle d'électricité primaire serait fortement réduite.

Le refroidissement des bâtiments peut déjà être utilisé comme source de chaleur dans les industries alentour, qui ont besoin de chaleur tout au long de l'année. Ces systèmes de refroidissement « par district » sont principalement adaptés dans les régions au climat chaud, dans lesquels la climatisation est utilisée la majeure partie de l'année. Dans les régions au climat plus tempéré, il est plus judicieux de récupérer la chaleur du système d'eaux usées, en collectant l'eau sanitaire chauffée « à passage unique » des douches et des robinets.

Les pompes à chaleur des bâtiments peuvent également puiser dans les sources géothermiques, qu'il s'agisse de géothermie superficielle ou de rivières/lacs. Par rapport à l'air ambiant, la géothermie offre des températures plus élevées qui restent relativement stables tout au long de l'année. Pendant l'été, cette source est généralement assez froide pour contourner le compresseur de la pompe à chaleur et permettre son fonctionnement en mode « refroidissement naturel ».

SIMPLIFIER LA DÉCARBONISATION THERMIQUE AVEC CIRCULAR THERMALSM

Le chauffage et le refroidissement dans l'industrie et les bâtiments représentent actuellement environ 70 % de la consommation d'énergie mondiale. Récupérer, transformer et réutiliser la chaleur résiduelle des usines industrielles permet de réduire significativement les efforts à déployer pour la décarbonisation thermique, ainsi que la quantité d'énergies renouvelables nécessaires au fonctionnement futur de ces usines. À travers le monde, des sites sont en cours de transformation et un nombre grandissant de nouveaux systèmes sont conçus en intégrant la méthodologie Circular ThermalSM.

En appliquant ce concept au-delà des murs d'une seule usine pour atteindre les bâtiments, nous pouvons diminuer le besoin en énergies primaires et décarboner encore davantage les systèmes énergétiques à l'échelle mondiale.



SOLUTIONS EFFICACES POUR INSTALLATIONS THERMIQUES
PAR L'UN DES LEADERS MONDIAUX DE LA GESTION DE L'ÉNERGIE
PROPOSANT DES EXPÉRIENCES APPRÉCIABLES

Armstrong International

Amériques | Asie | Europe, Moyen-Orient, Afrique

armstronginternational.com