Module 3 : Production de chaleur

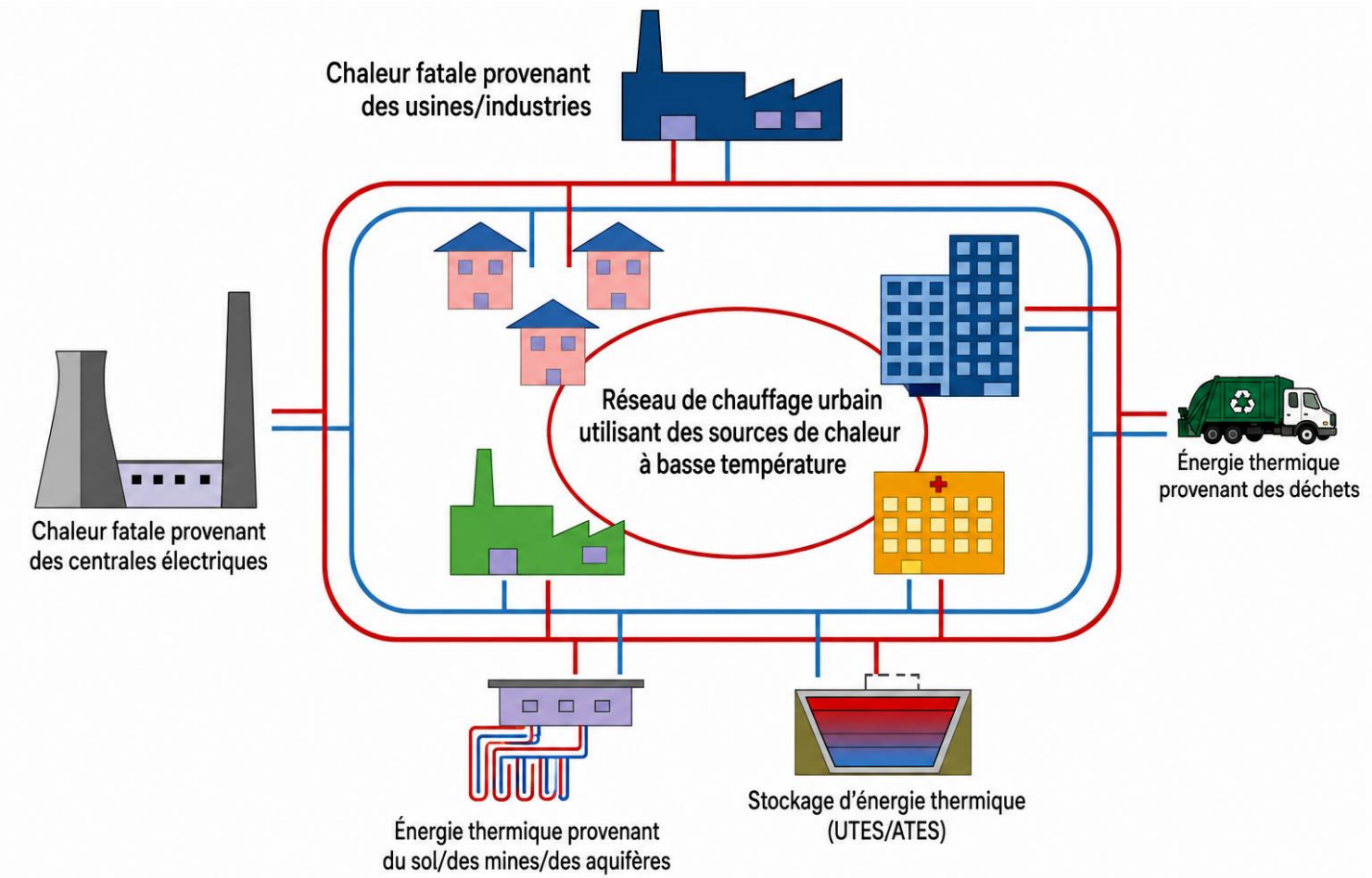
Module 3.2 Utilisation de la chaleur résiduelle et pompes à chaleur

SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities
Erasmus+ KA220-HED Cooperation Partnerships in Higher Education
Institutions: Universitat Jaume I de Castellón and Budapest University of Technology and Economics
Auteurs: Ghad Alarnaout-Alarnaout, Dr. Adrián Mota-Babiloni, Dr. Balázs Bokor
Date: Mai 2026 Version 1.1

SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities



1.1. CONTEXTE ET CLASSIFICATION DES RÉSIDUS THERMIQUES



Niessink, R. J. M. (2024, 6 de November). Heat networks low temperature households (district heating). Energy.nl. https://energy.nl/data/heat-networks-low-temperature-households-district-heating/

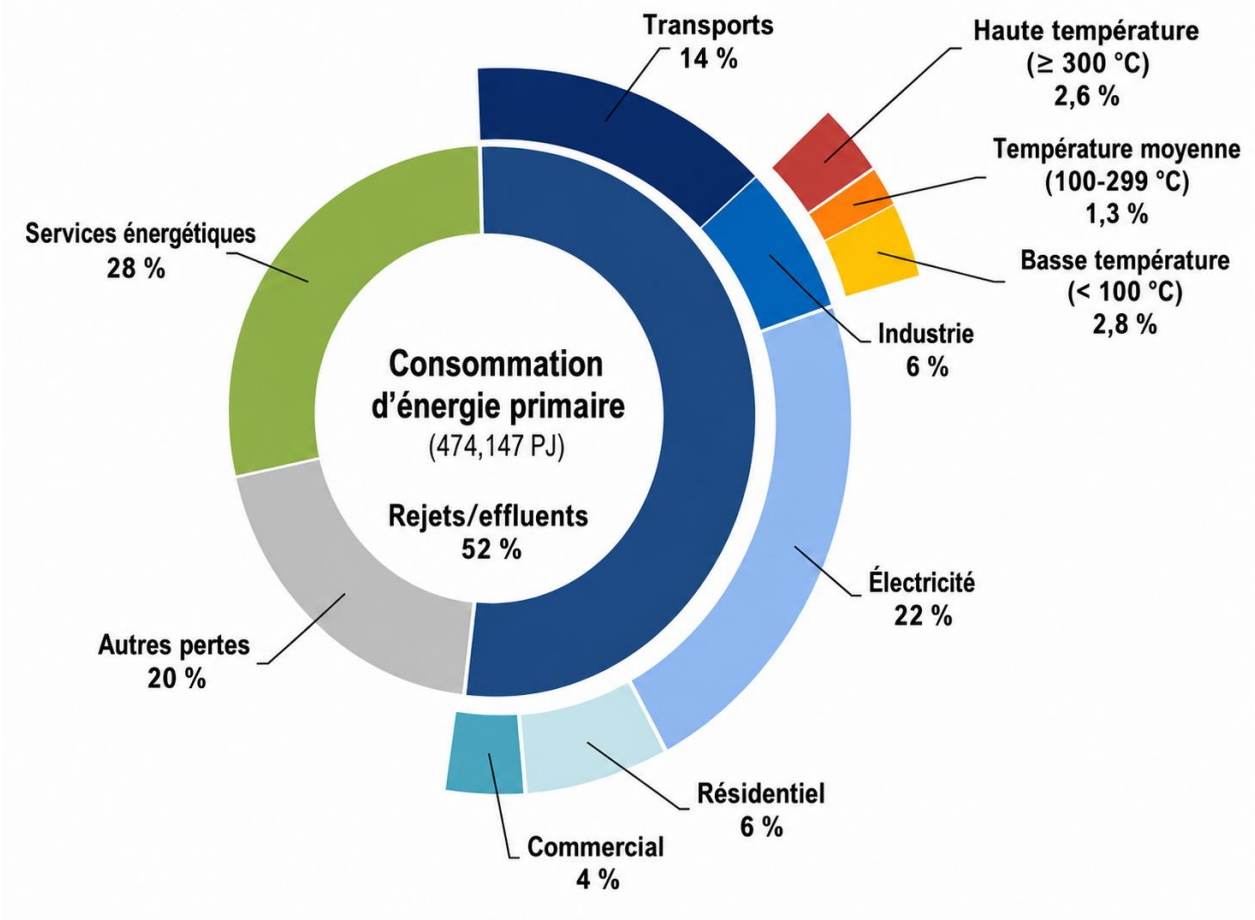
1.1. CONTEXTE ET CLASSIFICATION DES RÉSIDUS THERMIQUES

Une classification plus détaillée basée sur les plages de température se trouve dans la source de la diapositive :

Ultra-basse température (T_{amb}–60)	Basse température (60–100 °C)	Température moyenne (100–400 °C)	Haute température (>400 °C)
• Centres de données • Systèmes de stockage d'énergie • Installations CVC (chauffage, ventilation, climatisation) • Eaux usées • Géothermie • Décomposition biologique • Solaire thermique	• Moteur à combustion interne (refroidissement par eau de la chemise) • Vapeur issue de procédés industriels (fabrication) • Hydrothermie • Digestion anaérobie	• Moteur à combustion interne (gaz d'échappement) • Gaz d'échappement de centrales électriques • Vapeur issue de procédés industriels (chimie et agroalimentaire) • Géothermie (zones volcaniques) • Procédés de fermentation	• Vapeur de procédés industriels (sidérurgie) • Gaz d'échappement de centrales électriques (turbine à gaz) • Procédés d'incinération

Oh, J., Han, U., Jung, Y., Kang, Y. T., & Lee, H. (2024). Advancing waste heat potential assessment for net-zero emissions: A review of demand-based thermal energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 202, 114693. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114693

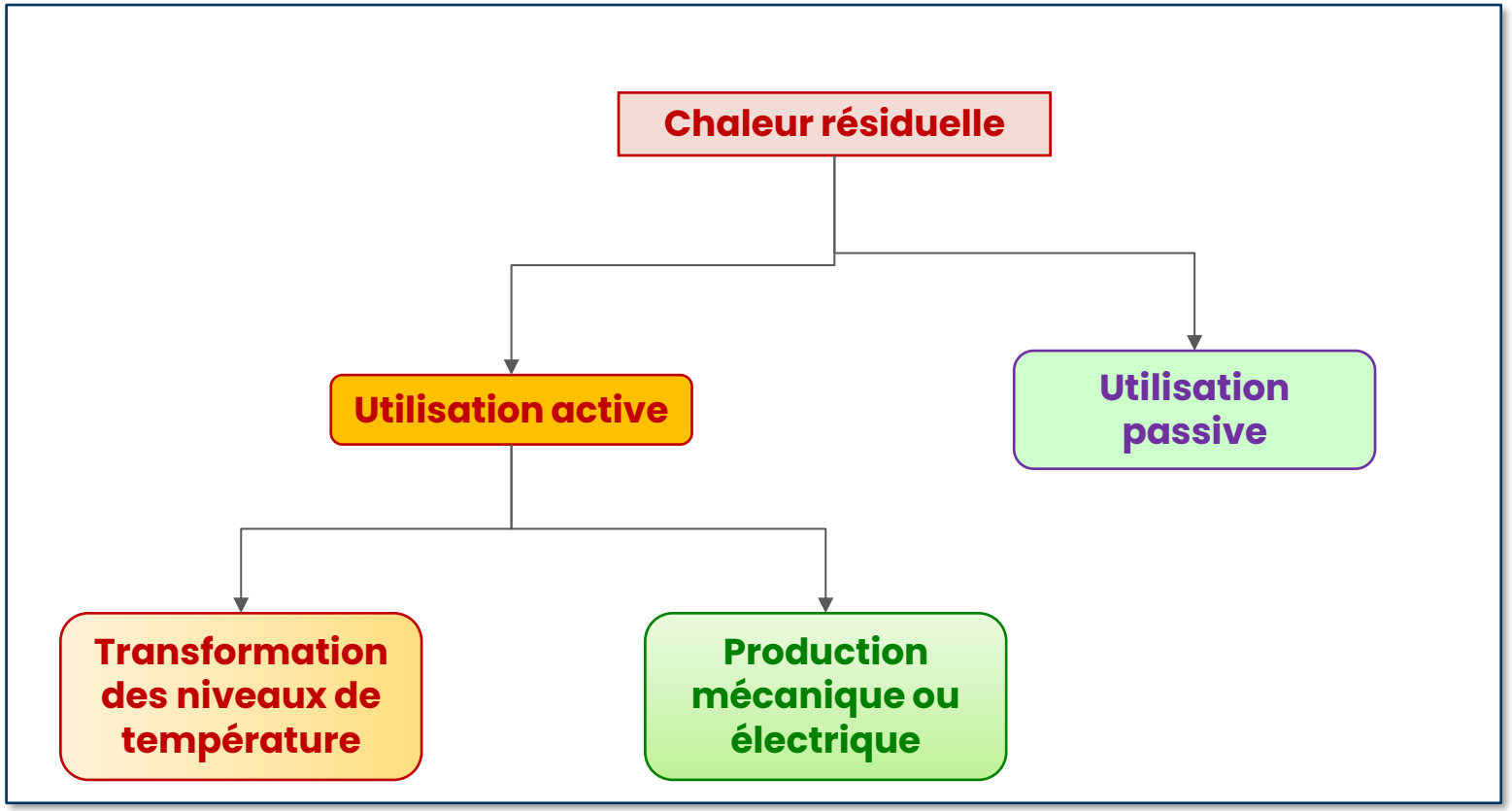
1.1. CLASSIFICATION DES SOURCES DE CHALEUR RÉSIDUELLE



Forman, C., Muritala, I. K., Pardemann, R., y Meyer, B. (2016). Estimating the global waste heat potential. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 1568–1579. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.192

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

La chaleur résiduelle peut être utilisée directement, par un usage passif (simplement en utilisant un échangeur de chaleur), soit transformée, par des technologies actives (transformant le niveau de température ou produisant de l'énergie mécanique ou électrique).

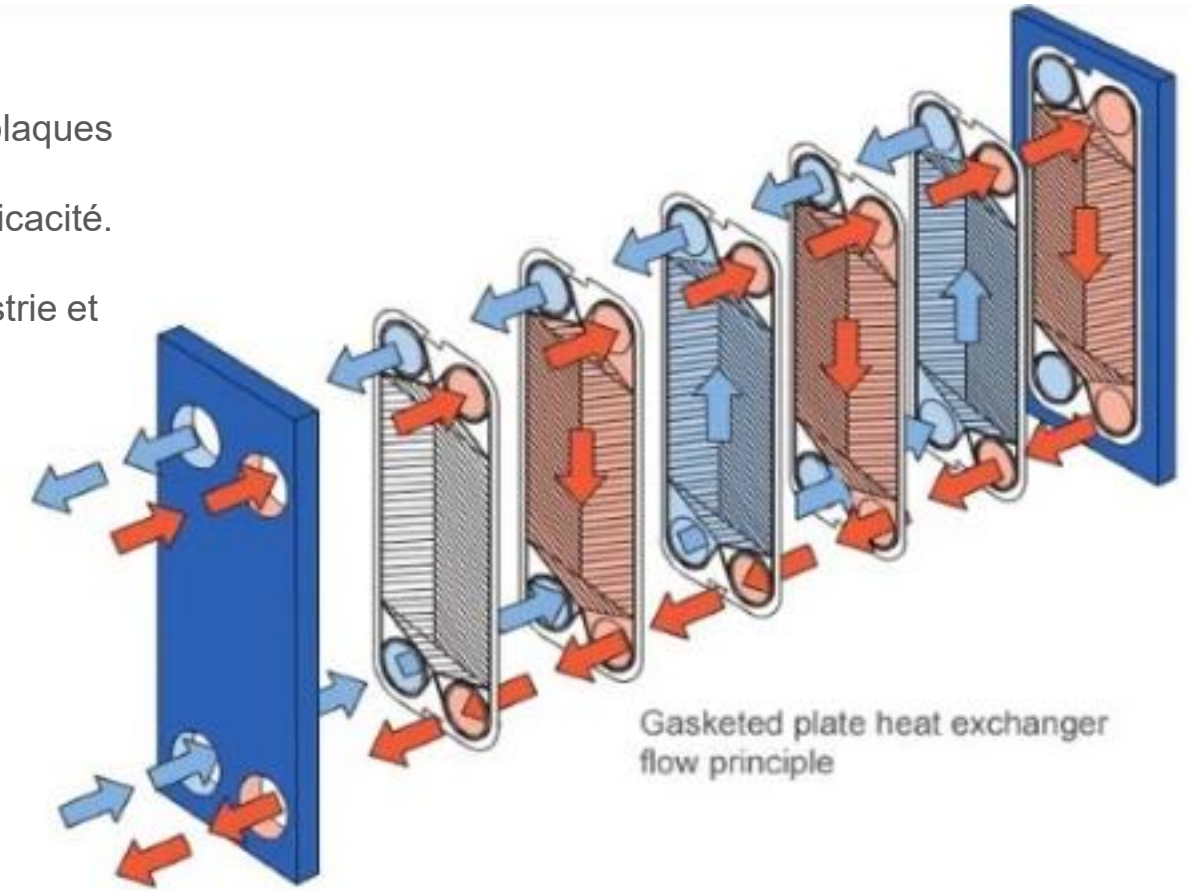


1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.1. ÉCHANGEURS DE CHALEUR

Échangeur de chaleur à plaques

- Il transfère la chaleur entre deux fluides séparés à travers des plaques métalliques.
- Une grande surface de transfert de chaleur offre une grande efficacité.
- Composants principaux : plaques, joints/brasage et châssis.
- Couramment utilisé pour la récupération de chaleur dans l'industrie et le CVC.
- Conception compacte avec de hautes performances.



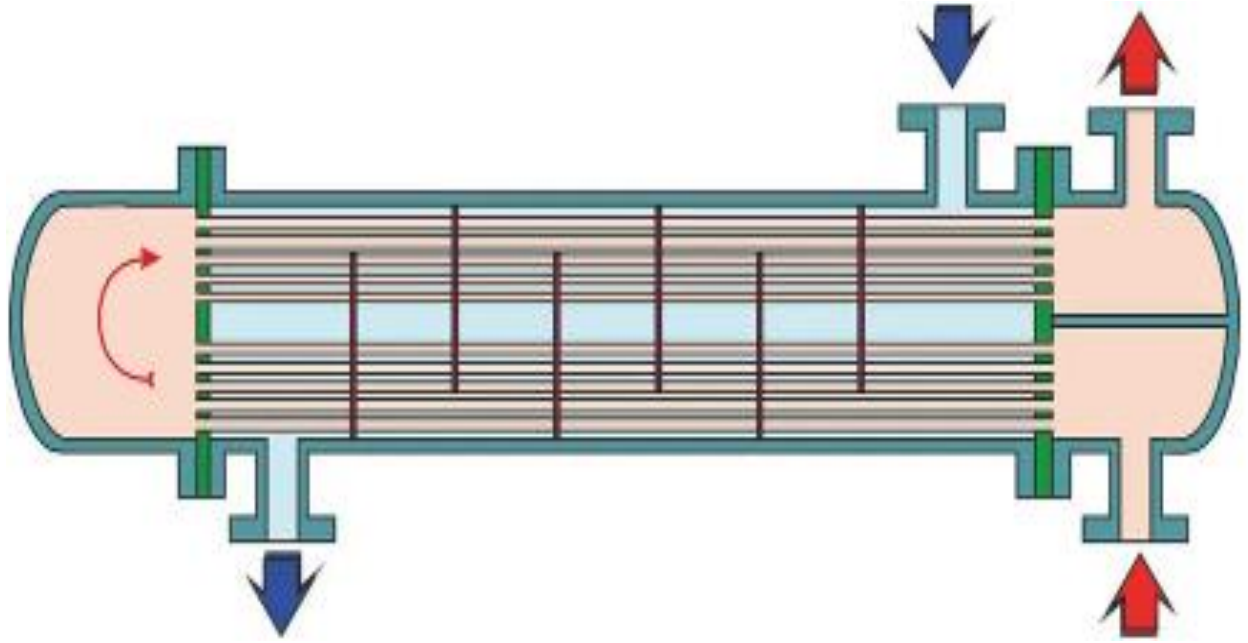
How plate heat exchangers work | Alfa Laval. (2024). Retrieved November 5, 2024, from https://www.alfalaval.sg/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/gasketed-plate-and-frame-heat-exchangers/heat-exchanger/how-plate-heat-exchanger-work/

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.1. ÉCHANGEURS DE CHALEUR

Échangeur de chaleur à tubes -calandre

- Il transfère la chaleur entre les fluides à l'aide de tubes à l'intérieur d'une calandre.
- Un fluide circule dans les tubes, l'autre autour d'eux.
- Composants principaux : tubes, calandre, déflecteurs et plaques tubulaires.
- Adapté aux applications à haute pression et haute température.
- Conception robuste pour les débits élevés et les liquides ou gaz.

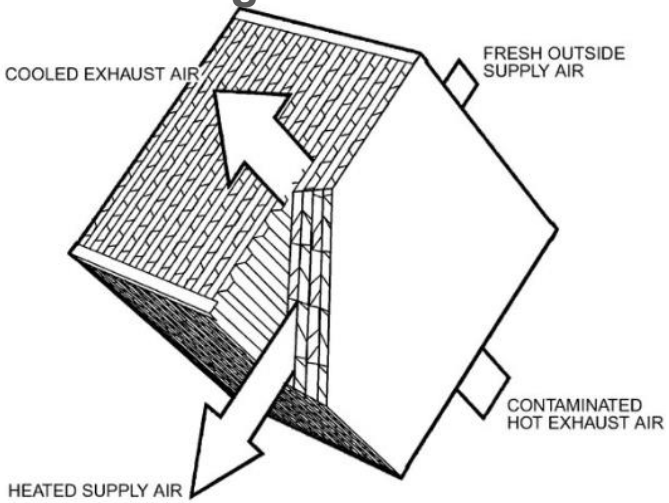


Imágenes de Heat Exchanger Tubes: descubre bancos de fotos, ilustraciones, vectores y vídeos de 3,563 | Adobe Stock. (2024). Retrieved November 5, 2024, from https://stock.adobe.com/es/search?k=heat+exchanger+tubes

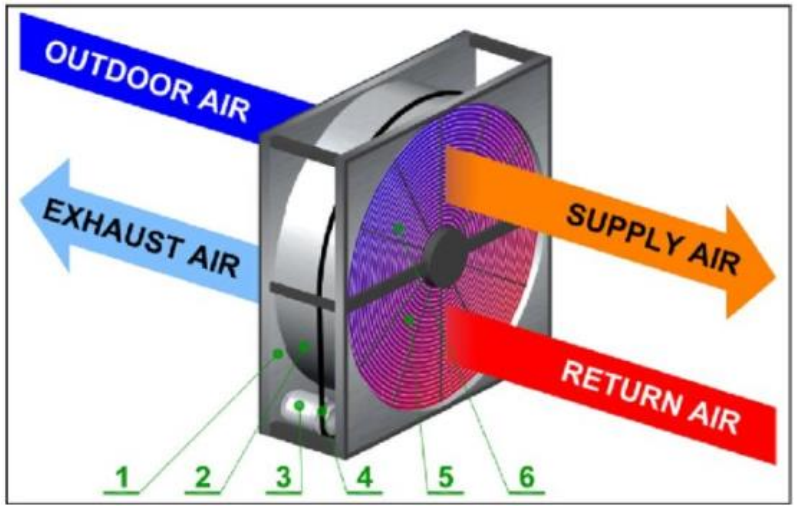
1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.1. ÉCHANGEURS DE CHALEUR

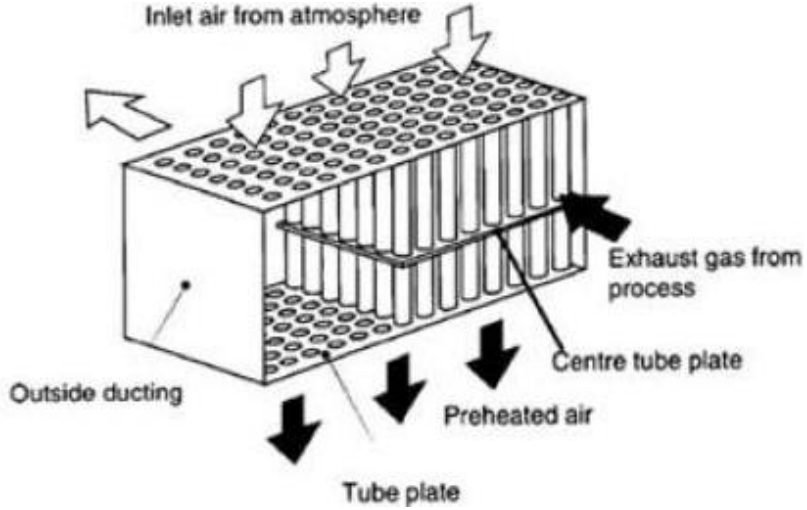
Échangeur de chaleur air-air (récupérateur)



Échangeur de plaques fixes



Échangeur de chaleur rotatif



Échangeur de chaleur à caloducs

Meshram, P., Pandey, B. D., & Mankhand, T. R. (2016). Hydrometallurgical processing of waste secondary batteries: A review. Resources, Conservation and Recycling, 113, 118-138. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.013

Kanaś, K., Sztekler, K., Nowak, W., & Siwekowski, P. (2019). Analysis of the operation of a shell and tube heat exchanger. E3S Web of Conferences, 108, 01011. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910801011

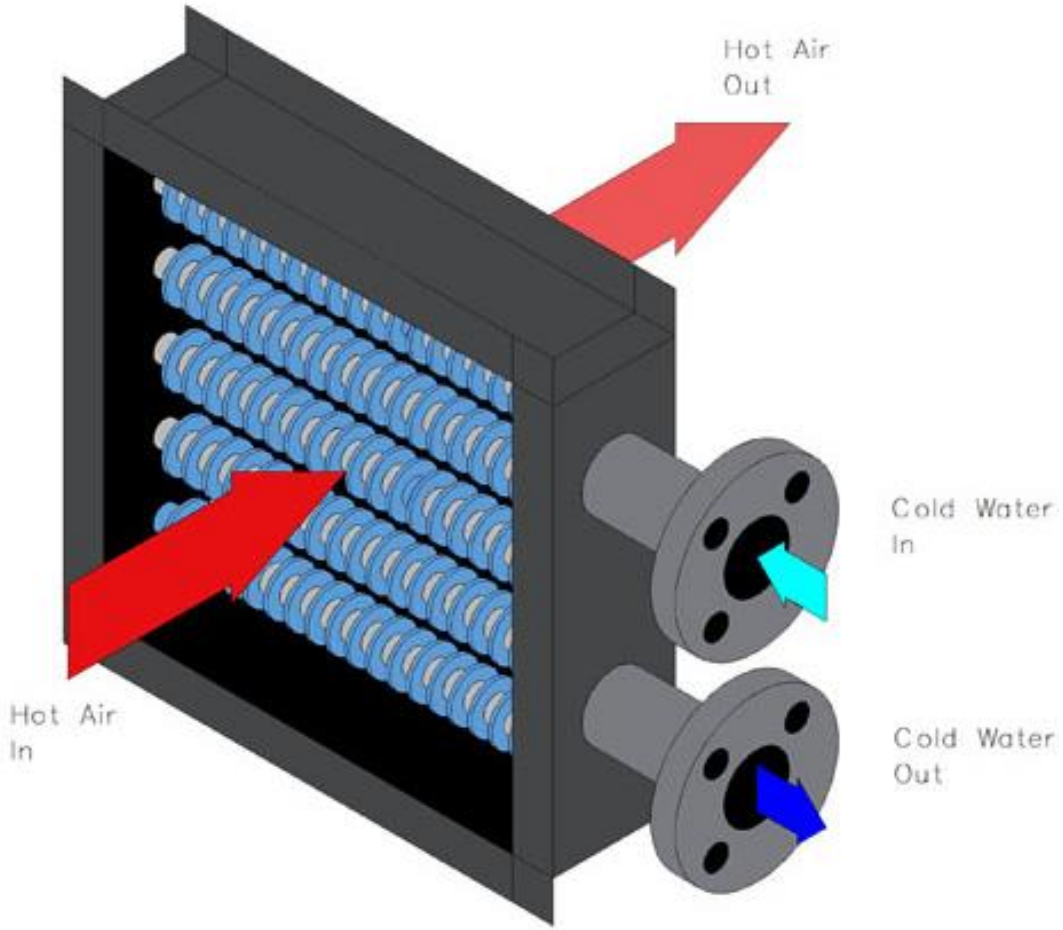
Commercial Waste Heat Recovery Devices. (2024). Retrieved November 7, 2024, from https://www.opexworks.com/KBase/Energy_Management/Termal_Energy_Management/Waste_Heat_Recovery/Commercial_Waste_Heat_Recovery_Devices.htm

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.1. ÉCHANGEURS DE CHALEUR

Échangeurs de chaleur à tubes à ailettes / Économiseurs

- Récupérer la chaleur des gaz d'échappement à basse à moyenne température.
- Consiste en des tubes à ailettes transportant de l'eau d'alimentation.
- Couramment utilisé dans les centrales électriques et les chaudières.
- Préchauffer l'eau d'alimentation et améliorer l'efficacité thermique.
- Capter la chaleur résiduelle des gaz de combustion.



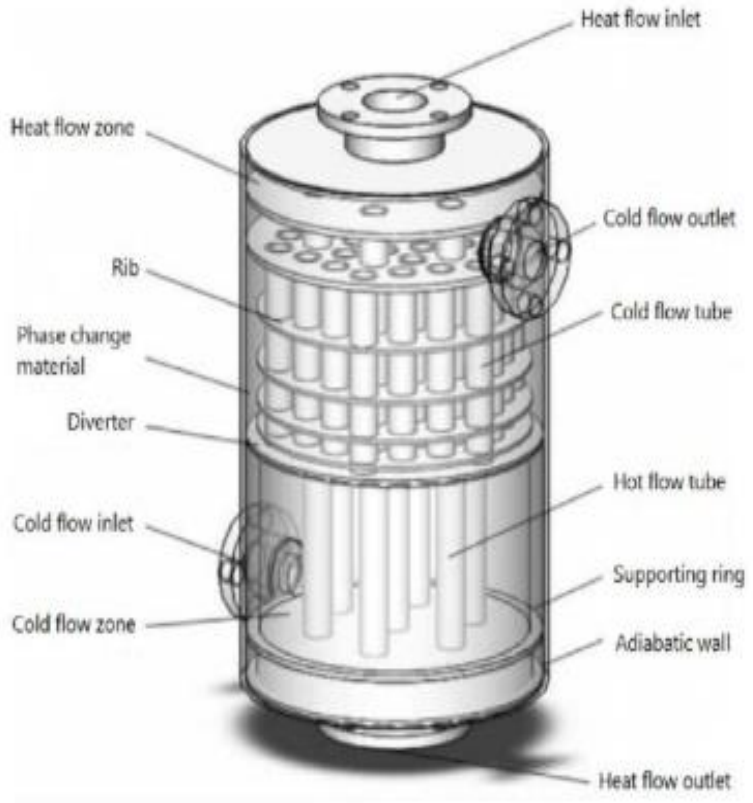
Commercial Waste Heat Recovery Devices. (2024). Retrieved November 7, 2024, from https://www.opexworks.com/KBase/Energy_Management/Termal_Energy_Management/Waste_Heat_Recovery/Commercial_Waste_Heat_Recovery_Devices.htm

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.1. ÉCHANGEURS DE CHALEUR

Échangeurs de chaleur régénératifs

- Stocker la chaleur d'un fluide et la transférer à un autre.
- Utiliser un milieu solide (métal ou céramique) pour absorber et libérer la chaleur.
- Principaux types : régénérateurs statiques (par exemple, régénérateurs à briques) et régénérateurs dynamiques (par exemple, roues chauffantes rotatives).
- Adapté aux applications à haute température.
- Courant dans les fours industriels et les systèmes de turbines à gaz.



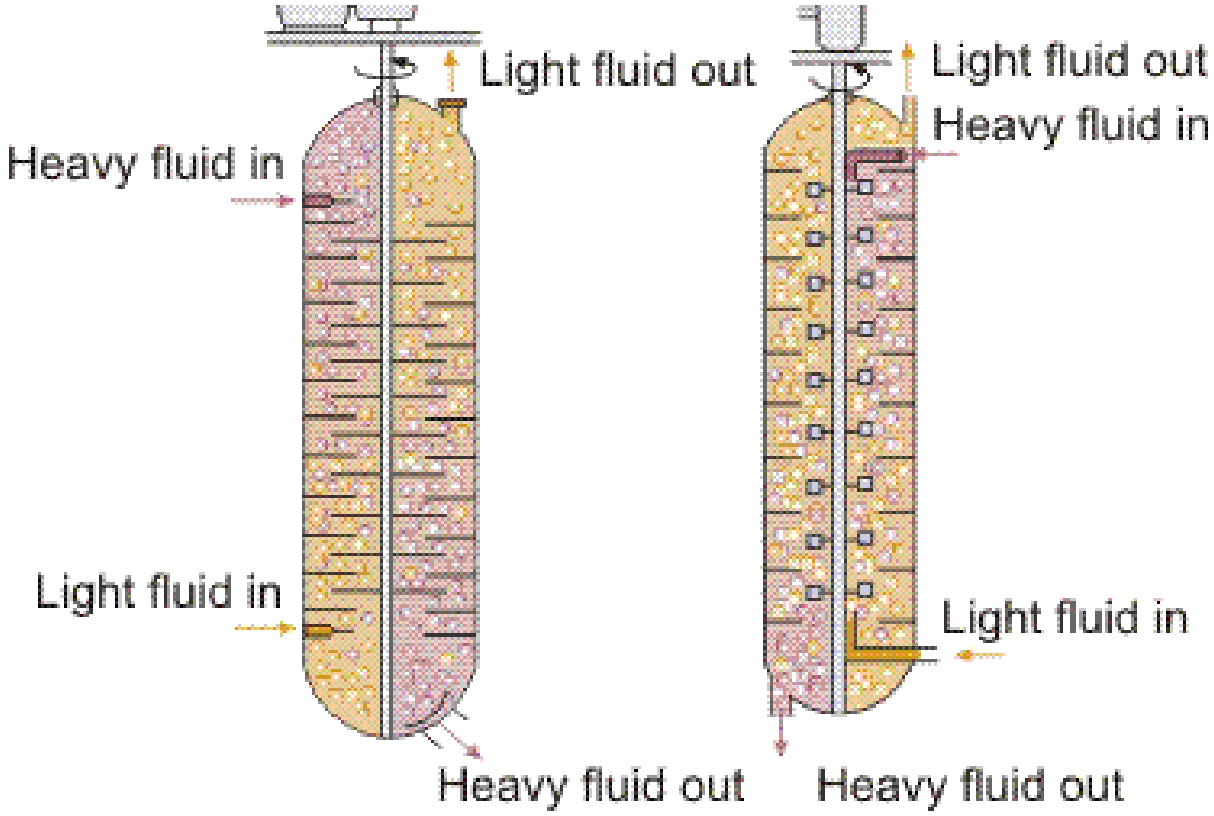
Du, X., Guo, H., Wang, Y., y Yang, L. (2021). Study on heat transfer characteristics of regenerative shell-and-tube heat exchangers. Thermal Science and Engineering, 4(2), 42. https://doi.org/10.24294/tse.v4i2.1518

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.1. ÉCHANGEURS DE CHALEUR

Échangeurs de chaleur à contact direct

- Les fluides chauds et froids entrent en contact direct sans paroi séparatrice.
- Le transfert de chaleur se fait par conduction, convection, et parfois changement de phase.
- Exemples courants : tours de refroidissement, condenseurs de pulvérisation et systèmes de contact direct géothermique.
- Adapté lorsque le mélange fluide est acceptable ou non préoccupant.
- Assurer un transfert de chaleur très efficace dans des applications spécifiques.

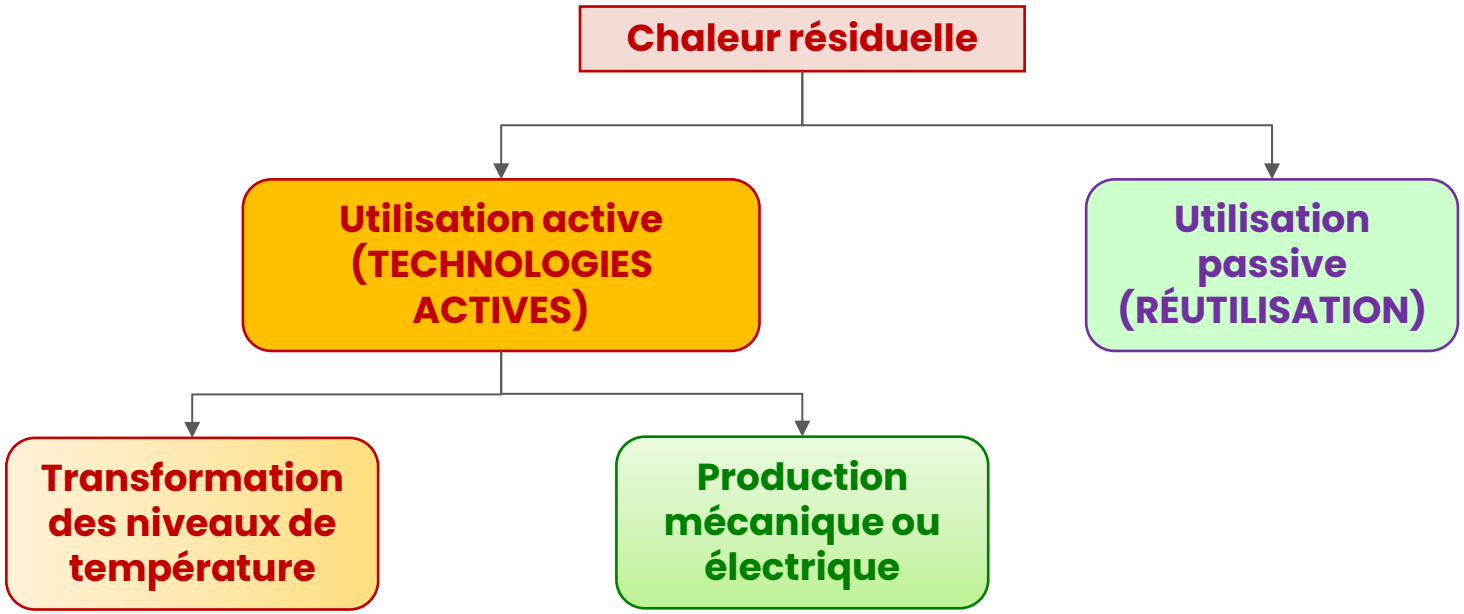


Jacobs, H. R. (2011, 2 de febrero). Direct contact heat exchangers. En Thermopedia. Begell House. https://doi.org/10.1615/AtoZ.d.direct_contact_heat_exchangers

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.1. VALORISATION DE LA CHALEUR RÉSIDUELLE

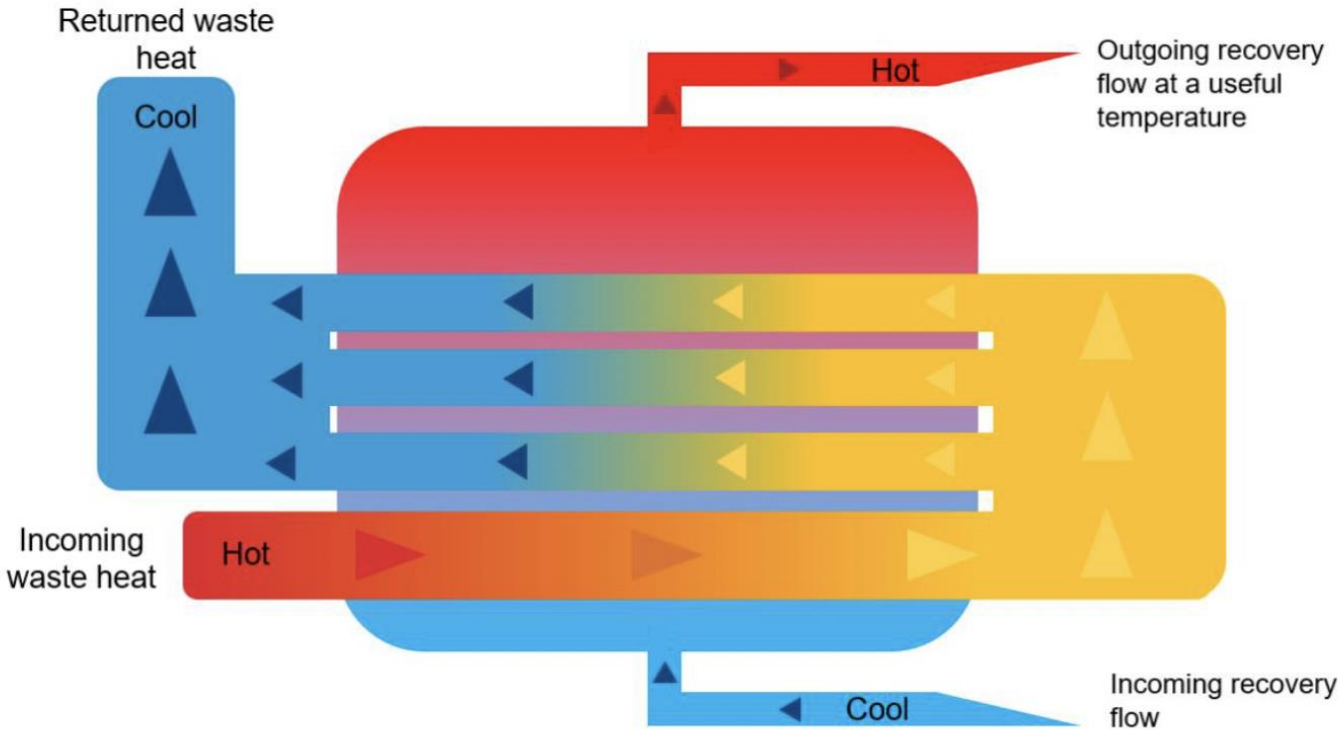
Comme mentionné précédemment, les échangeurs de chaleur sont les technologies les plus couramment utilisées pour capter la chaleur résiduelle. Une fois la chaleur résiduelle captée, elle peut être utilisée directement (réutilisation) ou plusieurs technologies actives peuvent être utilisées pour la transformer en énergie thermique à un autre niveau de température ou en énergie mécanique ou électrique.



1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.2. RÉUTILISATION

Générateurs de vapeur à récupération thermique (HRSG) : échangeur de chaleur qui capte et utilise la chaleur résiduelle des gaz d'échappement chauds pour générer de la vapeur.



Ove Arup & Partners Limited. (2024). Waste heat recovery: An introductory guide (Final report). Scottish Enterprise; Scottish Government. https://www.scottish-enterprise.com/media/efunpssc/waste-heat-recovery-guide.pdf

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.2. RÉUTILISATION

Économiseurs : échangeur de chaleur qui récupère la chaleur perdue provenant des gaz d'échappement ou des fluides de procédé pour préchauffer l'eau ou l'air.

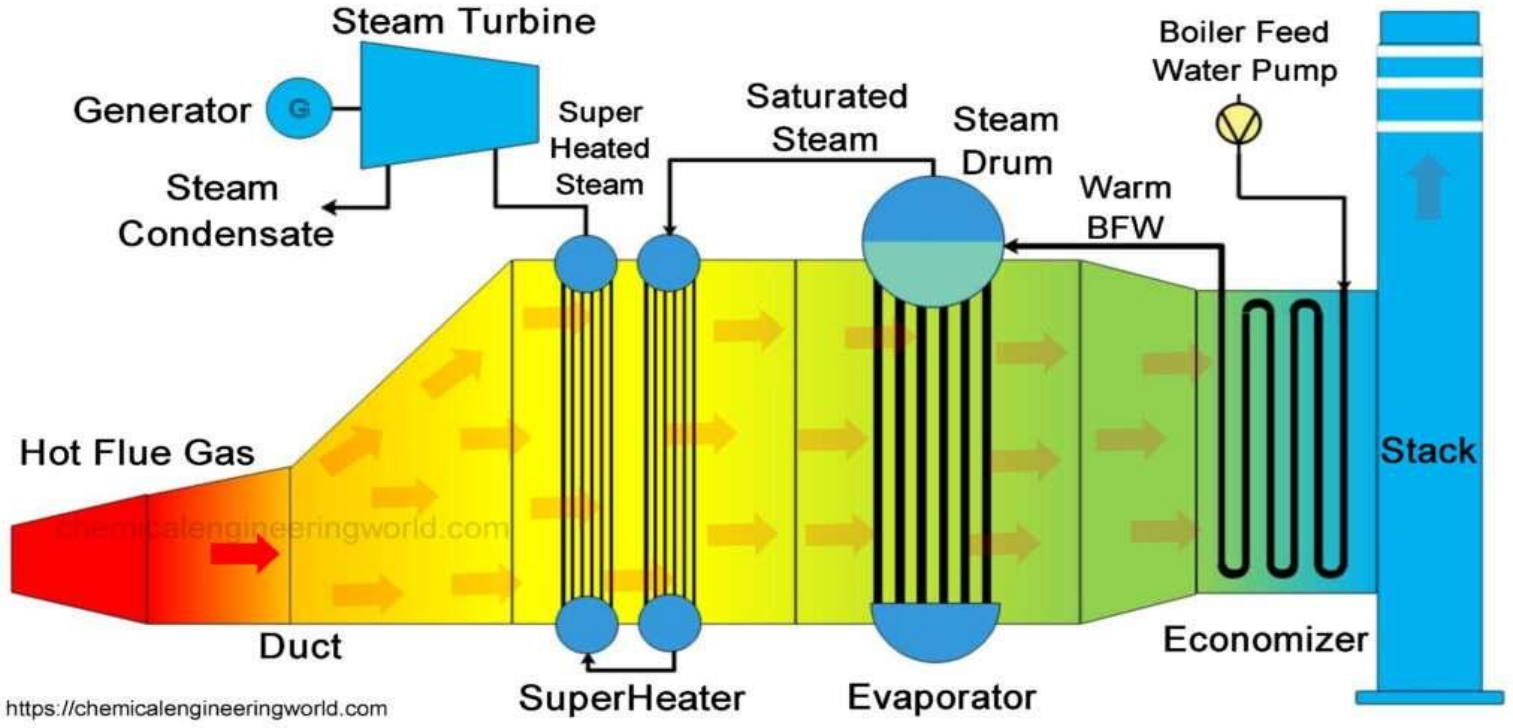


Ove Arup & Partners Limited. (2024). Waste heat recovery: An introductory guide (Final report). Scottish Enterprise; Scottish Government. https://www.scottish-enterprise.com/media/efunpssc/waste-heat-recovery-guide.pdf

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.2. RÉUTILISATION

Chaudières à récupération de chaleur : Système fonctionnant de manière similaire à une chaudière à gaz, mais au lieu d'utiliser du gaz, il utilise la chaleur résiduelle pour chauffer un milieu utile, généralement de l'eau

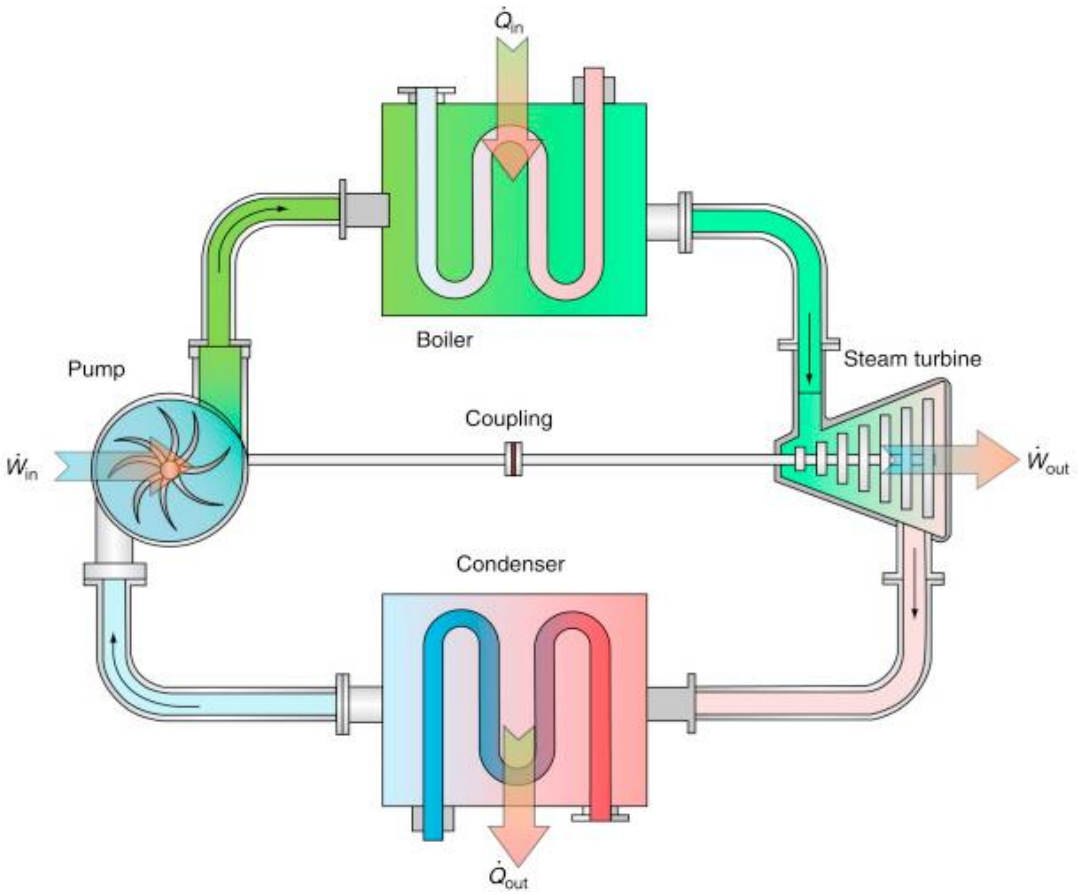


Ove Arup & Partners Limited. (2024). Waste heat recovery: An introductory guide (Final report). Scottish Enterprise; Scottish Government. https://www.scottish-enterprise.com/media/efunpssc/waste-heat-recovery-guide.pdf

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.3. TECHNOLOGIES ACTIVES (TECHNOLOGIES DE CONVERSION THERMIQUE RÉSIDUELLE)

- Convertit la chaleur résiduelle en énergie électrique ou mécanique à l'aide d'un fluide de travail organique.
- Adapté aux sources de chaleur basse à moyenne température.
- Plus efficace que les cycles de vapeur conventionnels à température modérée.
- Couramment utilisé dans les systèmes industriels de récupération de chaleur résiduelle et les énergies renouvelables.

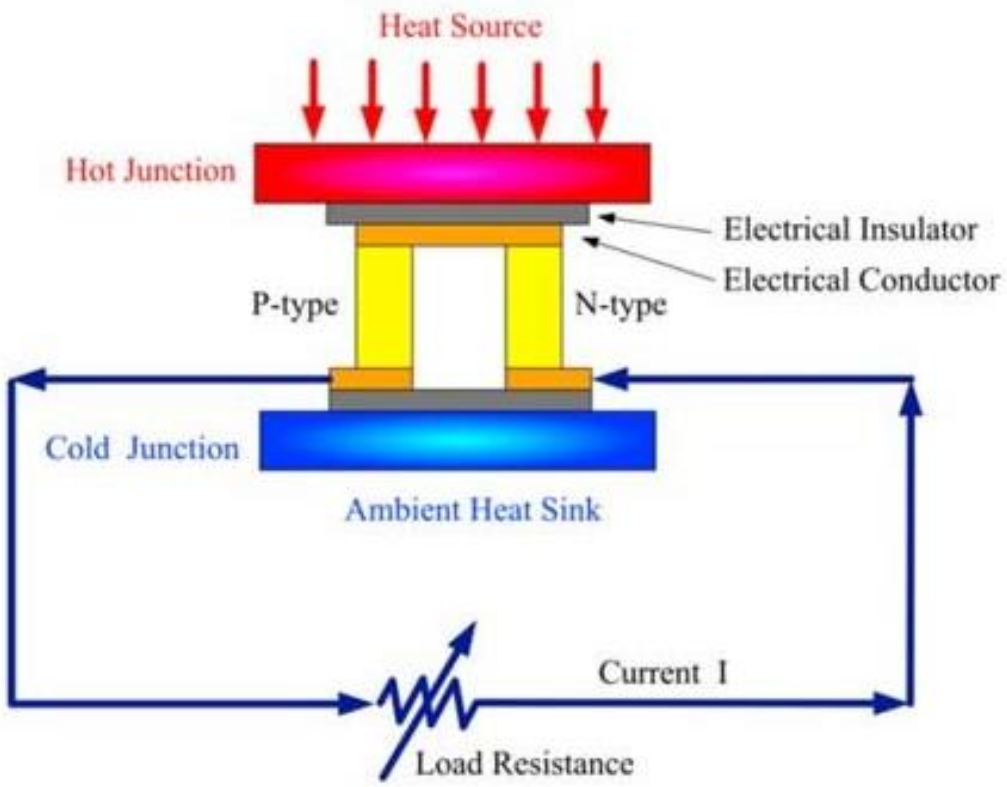


Dincer, I. (2018). 1.6 Exergy. In I. Dincer (Ed.), Comprehensive Energy Systems (pp. 212–264). Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00106-1

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.3. TECHNOLOGIES ACTIVES (TECHNOLOGIES DE CONVERSION THERMIQUE RÉSIDUELLE)

- Convertir directement la chaleur en électricité en utilisant l'effet thermoélectrique.
- Pas de pièces mobiles, ce qui nécessite peu d'entretien.
- Efficacité inférieure à celle des systèmes ORC.
- Adapté aux applications nécessitant de petites quantités d'énergie électrique provenant de la chaleur résiduelle.

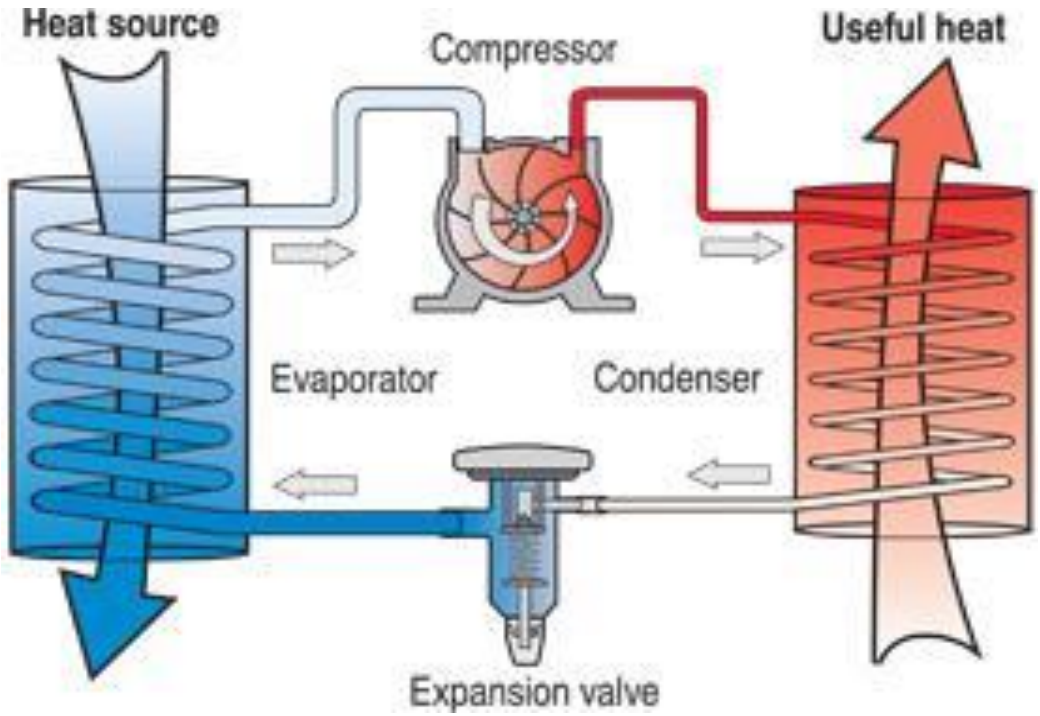


Sugiartha, N., & Negara, P. (2018). Technical Feasibility Evaluation on The Use of A Peltier Thermoelectric Module to Recover Automobile Exhaust Heat. Journal of Physics: Conference Series, 953, 012090. https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012090

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.3. TECHNOLOGIES ACTIVES (CHALEUR PERDUE VERS FROID OU CHALEUR)

- Améliorer la chaleur résiduelle à un niveau de température plus élevé pour un chauffage utile.
- Le plus souvent basé sur le cycle de compression de vapeur.
- Améliorer l'efficacité énergétique en réutilisant la chaleur résiduelle à basse température.
- Largement utilisé dans les applications de chauffage industriel et de bâtiments.

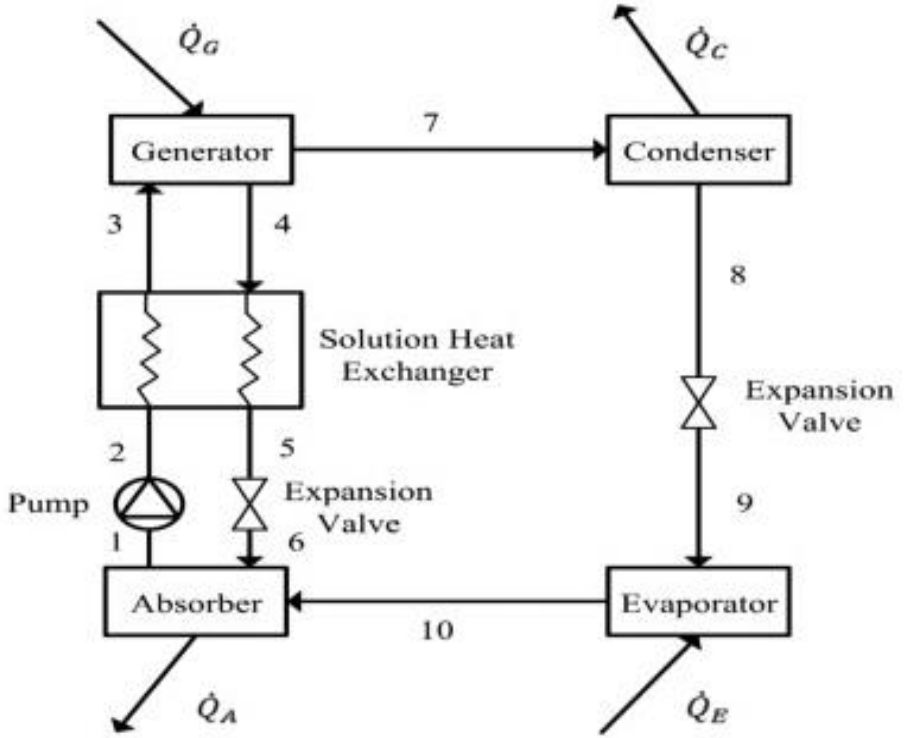


IEA. (2022). The future of heat pumps. International Energy Agency. Retrieved February 21, 2025, from https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/executive-summary

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.3. TECHNOLOGIES ACTIVES (CHALEUR PERDUE VERS FROID OU CHALEUR)

- Des systèmes thermiques qui utilisent la chaleur au lieu de la compression mécanique.
- On peut augmenter la chaleur résiduelle à une température plus élevée.
- Adapté lorsqu'une source d'énergie thermique est facilement disponible.
- Couramment utilisé dans les systèmes industriels de récupération de la chaleur résiduelle et de cogénération.



El Haj Assad, M., Nazari, M. A., Ehyaei, M. A., & Rosen, M. A. (2021). Chapter 11 - Heat pumps and absorption chillers. In M. E. H. Assad & M. A. Rosen (Eds.), Design and Performance Optimization of Renewable Energy Systems (pp. 163–180). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821602-6.00013-4

1.2. TECHNOLOGIES POUR CAPTER ET UTILISER LA CHALEUR RÉSIDUELLE

1.2.3. TECHNOLOGIES ACTIVES (POMPE À CHALEUR À COMPRESSION VAPEUR)

Pompes à chaleur à compression de vapeur (VCHP)

Récupérer et réhausser la chaleur usée de basse qualité à des températures élevées.

Clé pour la **décarbonation** par l'électrification de la chaleur.

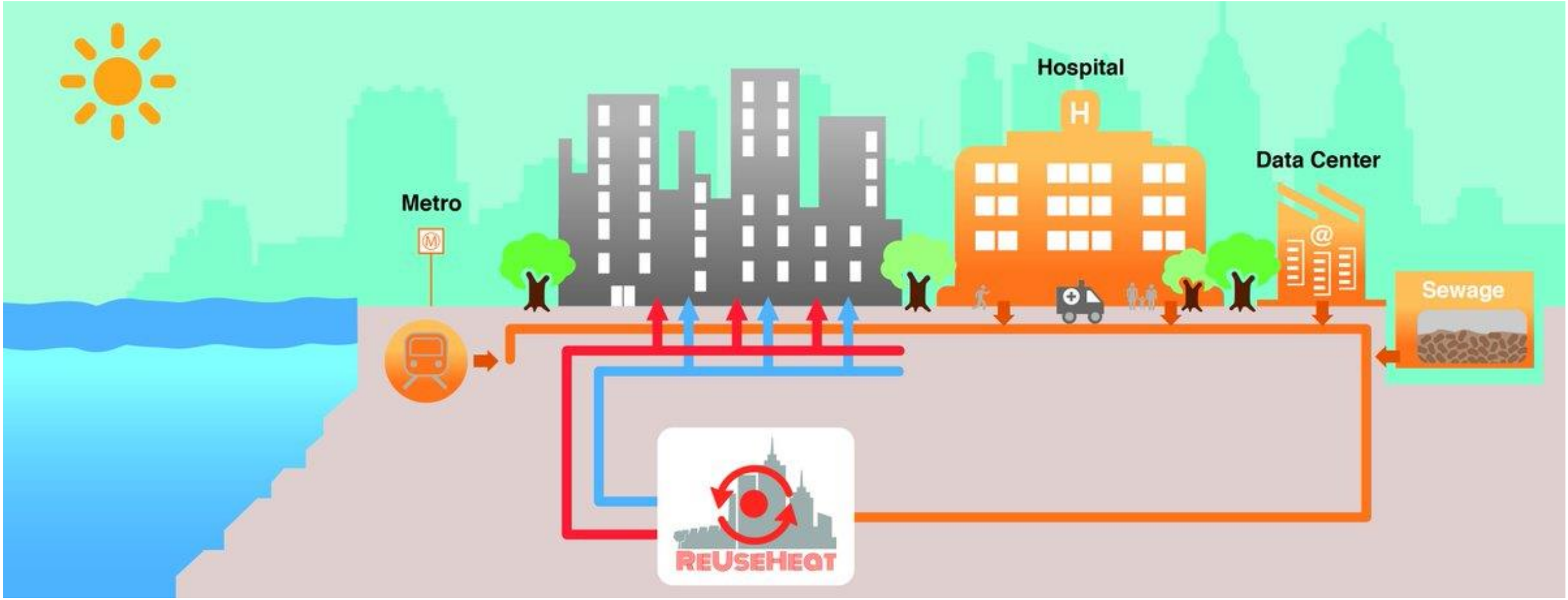
Largement applicable (par exemple, chauffage urbain).

COP = charge du condenseur / puissance du compresseur (typiquement 2–6).

L'utilisation de la chaleur résiduelle augmente la COP en réduisant la levée thermique.

Communautés énergétiques dans le chauffage urbain

Utilisation de la chaleur résiduelle



Source: www.reuseheat.eu

Communautés énergétiques dans le chauffage urbain

Utilisation de la chaleur résiduelle provenant des centres de données





- Consommation d'électricité dans le monde en 2010 : 350 TWh
- Cela représente >1 % de la consommation mondiale d'électricité en 2010
- Le refroidissement est nécessaire pour le fonctionnement sûr de l'équipement
- Centre de données de taille moyenne :
- Capacité informatique de 1 MW
- Émissions de chaleur : 3700 MWh/an avec refroidissement
- 0,46 MWhth de chaleur perdue pour 1 MWel de consommation d'électricité

Source: www.reuseheat.eu

Communautés énergétiques dans le chauffage urbain

Utilisation de la chaleur résiduelle provenant des centres de données



- Consommation d'énergie électrique des centres de données en Europe :
- 2007 : 56 TWh/an
- 2020 : Attendu pour atteindre 104 TWh/an
- Tendances croissantes : streaming, IoT
- Le refroidissement représente 40 % de la consommation totale d'énergie des centres de données.
- Performance des centres de données :
- Performances informatiques de 5 MW (dans certains endroits en Europe)
- 500 kW – 5 MW (plusieurs centres)
- Sous 500 kW (la plupart des centres)

Source: www.reuseheat.eu, https://www.constructionglobal.com/cloud-computing/apple-construct-second-data-centre-china

Communautés énergétiques dans le chauffage urbain

Utilisation de la chaleur résiduelle des tunnels de métro



Source de chaleur

- Lors du freinage des rames
- Ventilation des wagons de métro

À l'échelle mondiale

- Dans 148 villes
- Ligne de 11000 km
- 151 millions de passagers/jour

Dans l'Union européenne

- 50 villes moyennes et grandes
- 2800 km de lignes
- 31 millions de passagers/jour
- 6,7-11,2 TWh/a de chaleur résiduelle

Distance moyenne de 1 km entre deux gares

Dans une zone densément peuplée

Source: www.reuseheat.eu

Communautés énergétiques dans le chauffage urbain

Utilisation de la chaleur résiduelle des réseaux d'égouts à l'aide de pompes à chaleur

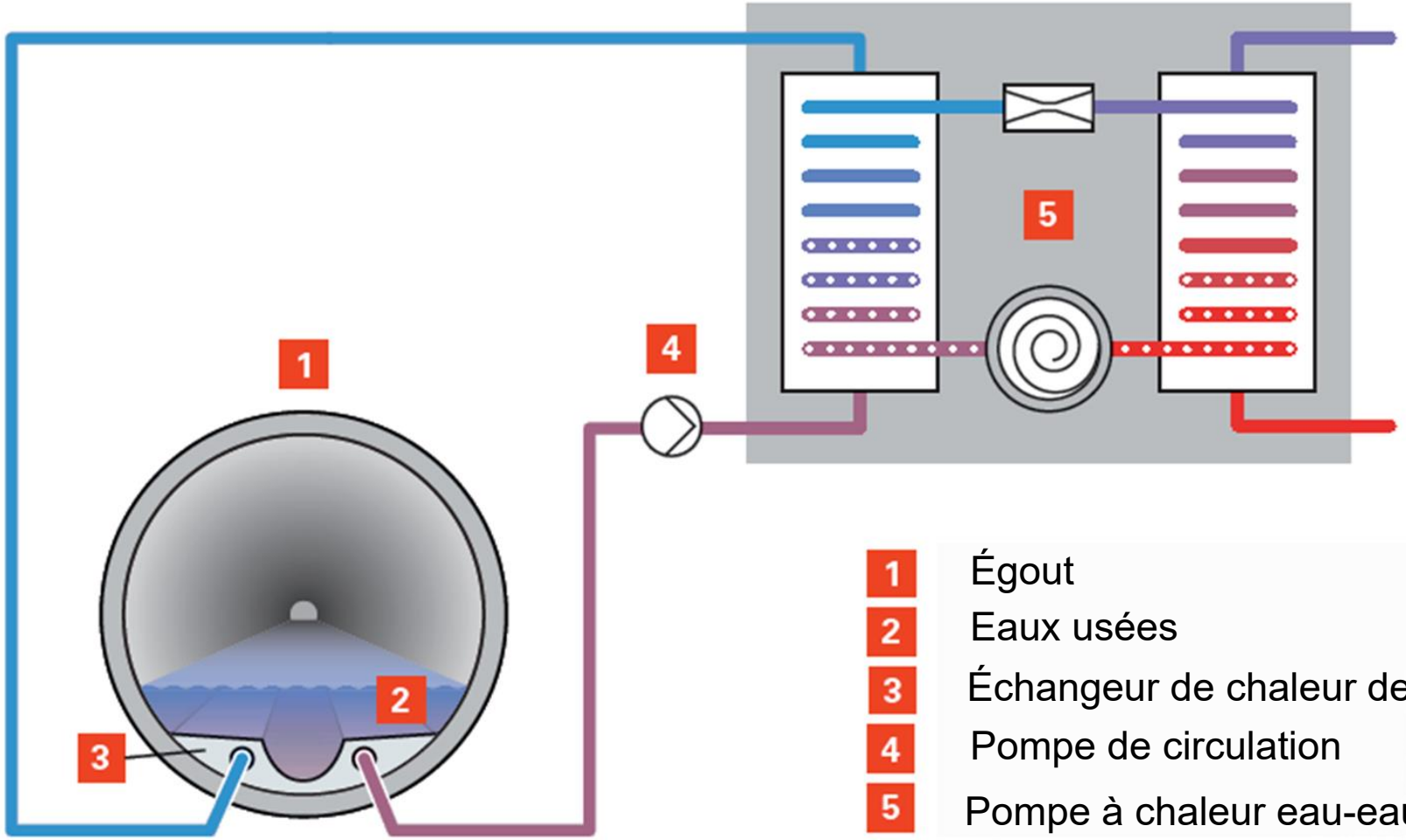


- Source de chaleur
- Moyenne annuelle 10-15 °C
- En été, elle atteint 20 °C
- Application de la technologie de la pompe à chaleur :
- Dans des villes de plus de 10 000 habitants
- peut couvrir 5 % de la demande totale de chaleur
- 150 TWh/a
- En Allemagne
- Potentiel de fourniture de 20 % du parc immobilier
- Projets achevés :
- Cologne
- Nice

Source: www.reuseheat.eu

Communautés énergétiques dans le chauffage urbain

Utilisation de la chaleur résiduelle des réseaux d'égouts à l'aide de pompes à chaleur



1. Égout
2. Eaux usées
3. Échangeur de chaleur des eaux usées
4. Pompe de circulation
5. Pompe à chaleur eau-eau

Source: www.reuseheat.eu

1.3. PRINCIPES THERMODYNAMIQUES POUR LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR

Une pompe à chaleur fonctionne selon des principes thermodynamiques fondamentaux. Elle transfère la chaleur d'une source à basse température vers un puits à température plus élevée en utilisant de l'énergie externe, généralement électrique ou mécanique.

Deuxième loi de la thermodynamique (énoncé de Clausius) : La chaleur s'écoule naturellement d'une température plus élevée vers une température plus basse. Une pompe à chaleur inverse ce processus en utilisant un travail externe pour déplacer la chaleur d'un réservoir froid vers un réservoir chaud.

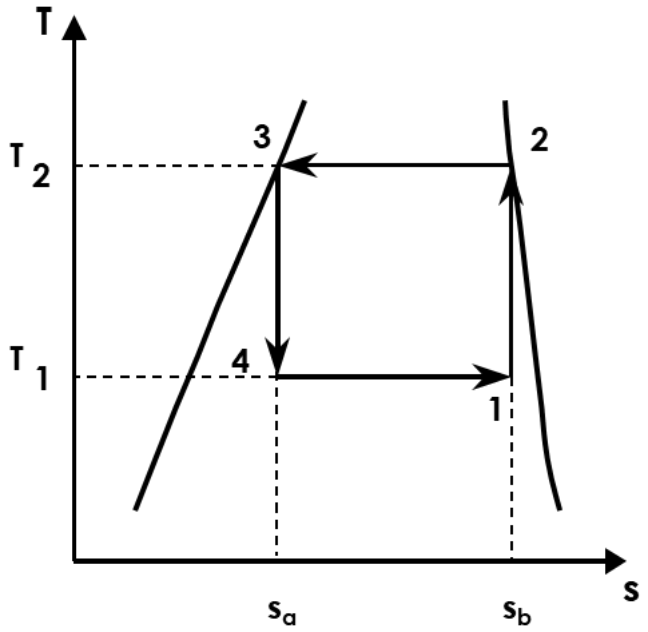
Première loi de la thermodynamique (conservation de l'énergie) : L'énergie totale à l'intérieur d'un système reste constante :

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W} = \dot{Q}_{out}$$

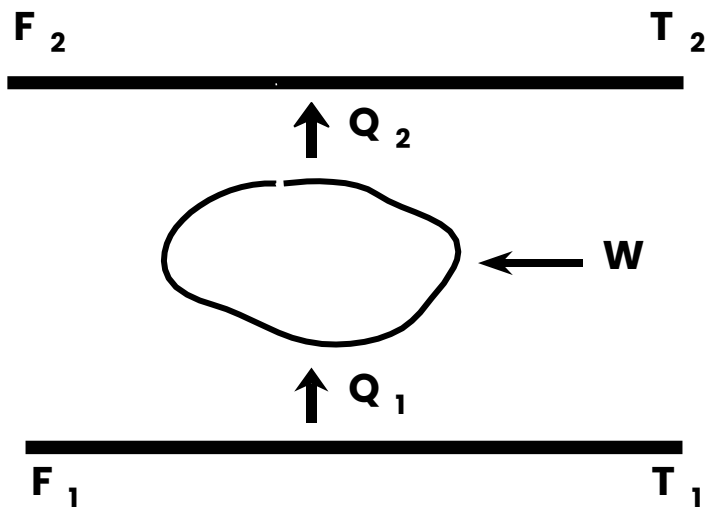
$\dot{Q}_{in}$ = Chaleur absorbée par la source basse température (évaporateur)
$\dot{W}$ = Entrée de travail (énergie du compresseur)
$\dot{Q}_{out}$ = Chaleur libérée au puits à haute température (condenseur)

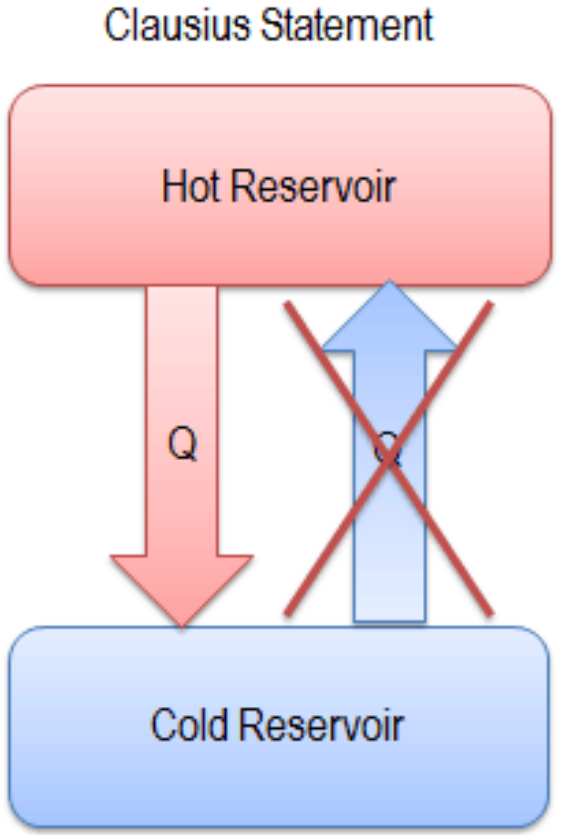
1.3. PRINCIPES THERMODYNAMIQUES POUR LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR

POMPE À CHALEUR (CYCLE IDÉAL)



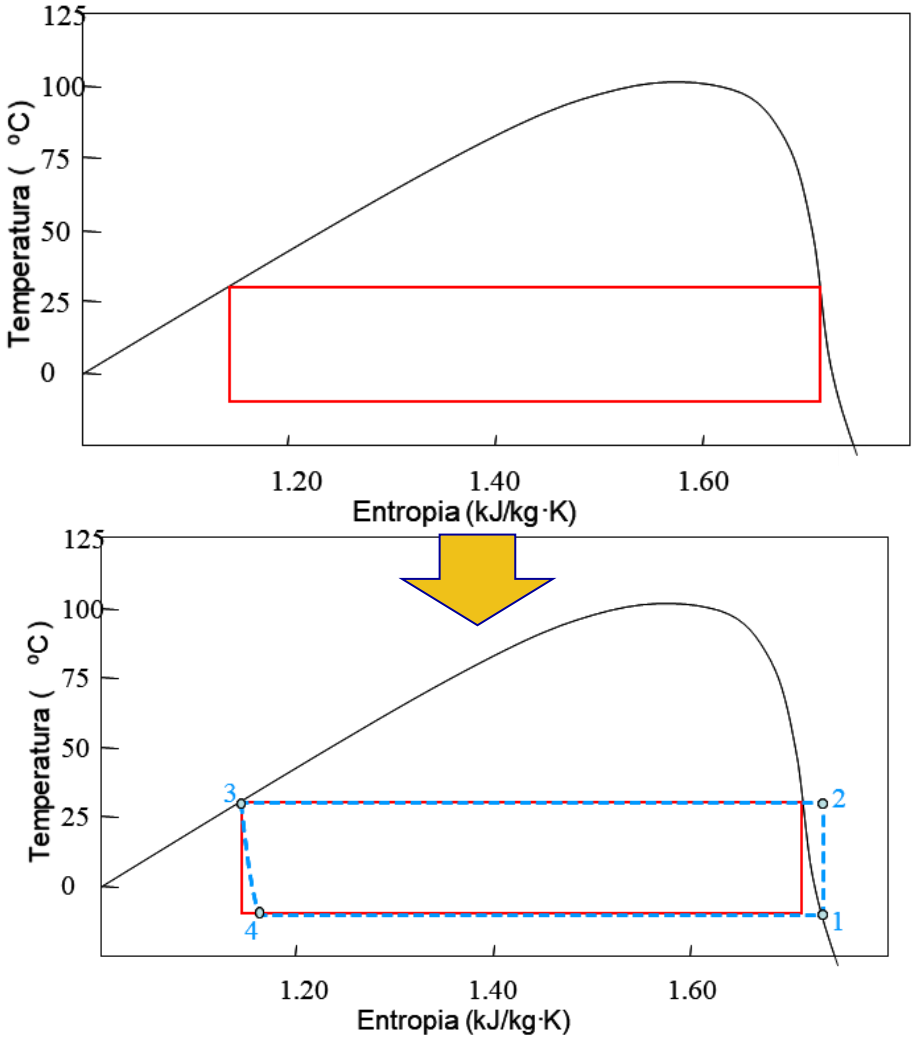
$$\eta_{BC(Carnot)} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

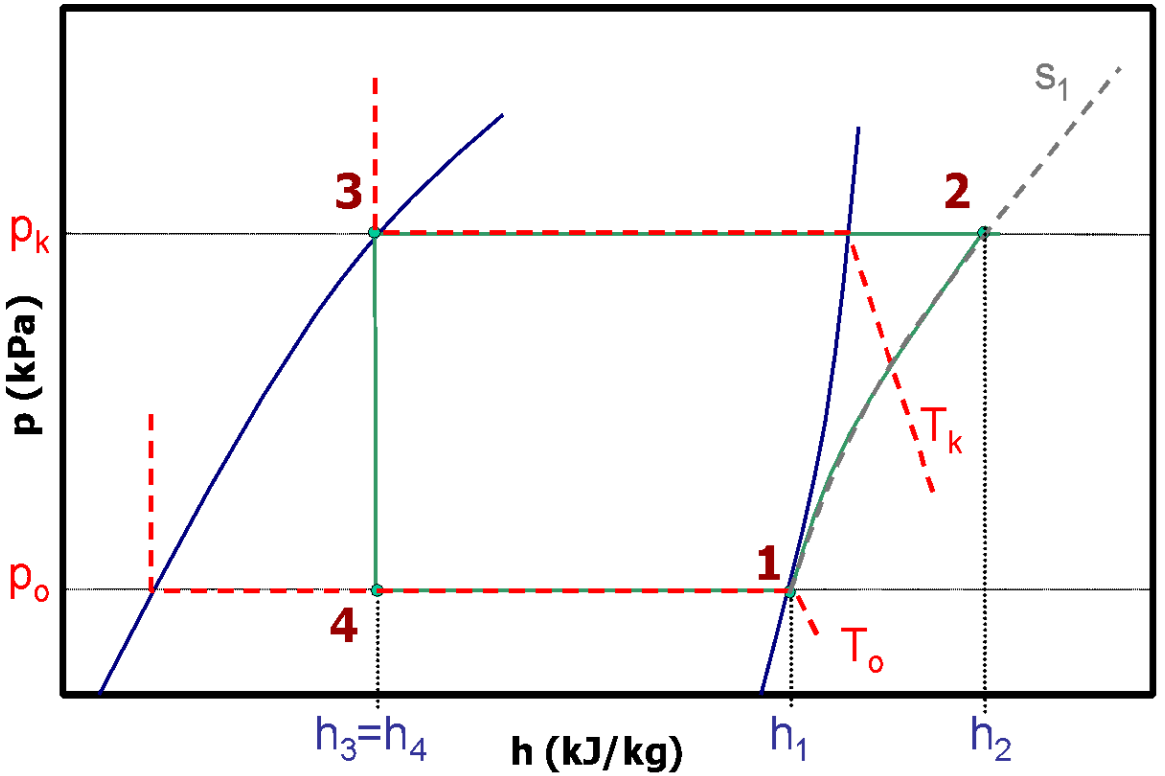




Nuclear Power. (n. d.). Clausius statement of the second law. https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/thermodynamics/laws-of-thermodynamics/second-law-of-thermodynamics/clausius-statement-of-the-second-law/

1.3. PRINCIPES THERMODYNAMIQUES POUR LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR

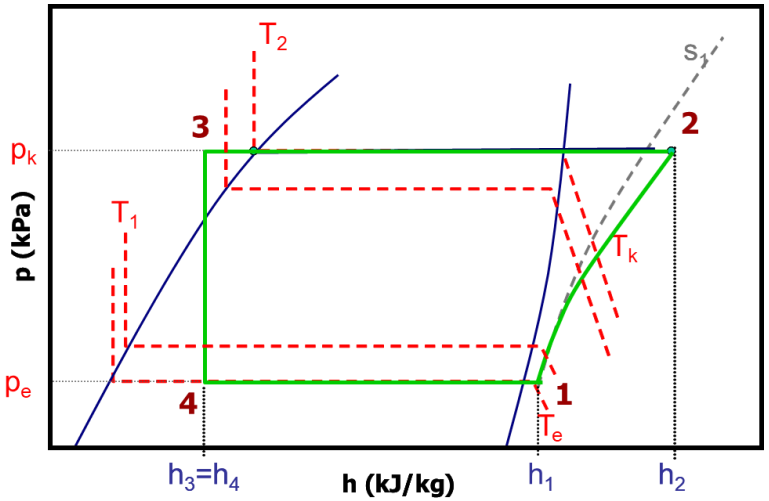


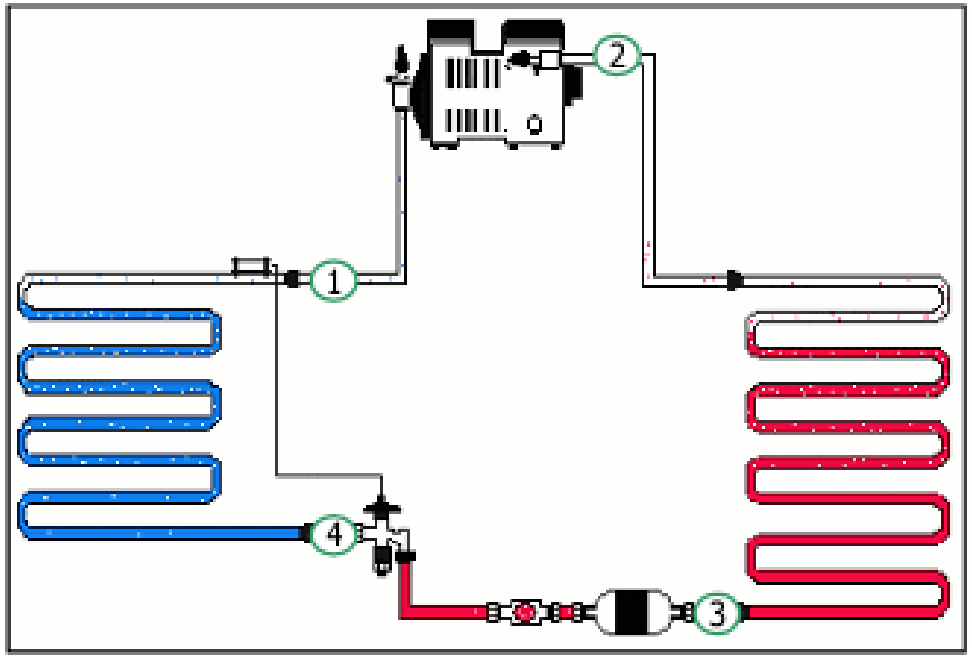


1.3. PRINCIPES THERMODYNAMIQUES POUR LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR

POMPE À CHALEUR (CYCLE RÉEL)

Réfrigérant



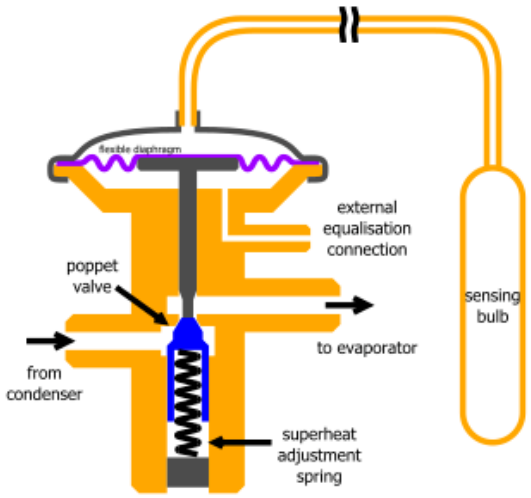


Le réfrigérant est la substance qui circule à travers les différents éléments du système de manière cyclique, absorbant la chaleur à basse température dans l'évaporateur et libérant de la chaleur à des températures plus élevées dans le condenseur. En général, ces processus impliquent un changement d'état du fluide.

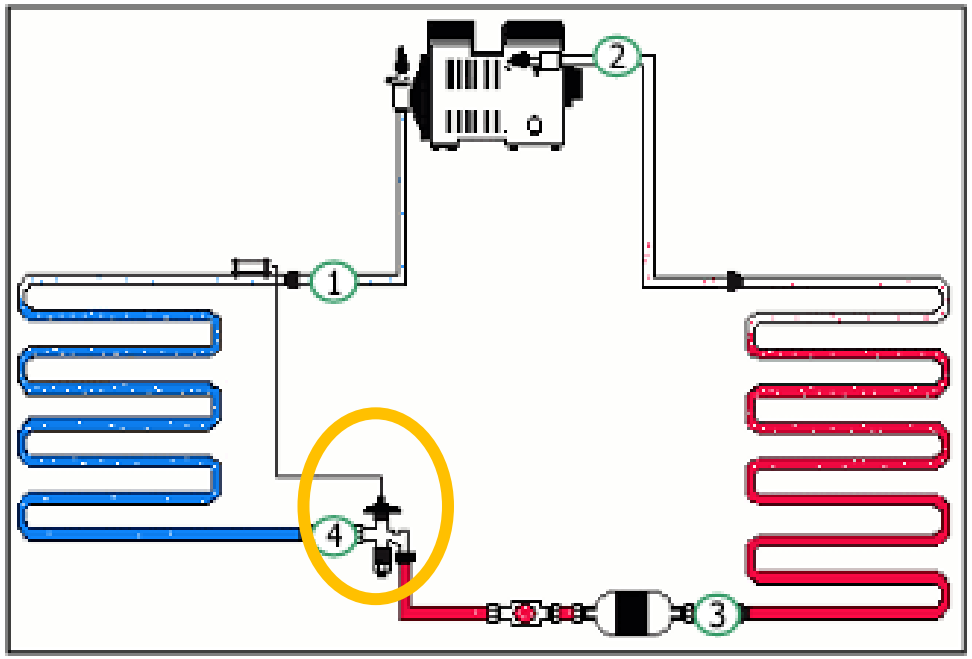
1.3. PRINCIPES THERMODYNAMIQUES POUR LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR

POMPE À CHALEUR (CYCLE RÉEL)

Détendeur







- La vanne d'expansion réduit la pression du réfrigérant de la pression de condensation à la pression d'évaporation.

Thermal expansion valve - Wikipedia. (n.d.). Retrieved November 7, 2024, from https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_expansion_valve

Thermostatic Expansion Valve -Parker - EBS Series | Parker NA. (n.d.). Retrieved November 7, 2024, from https://ph.baldwinfilters.com/us/es/product-list/thermostatic-expansion-valve-parker-ebs-series

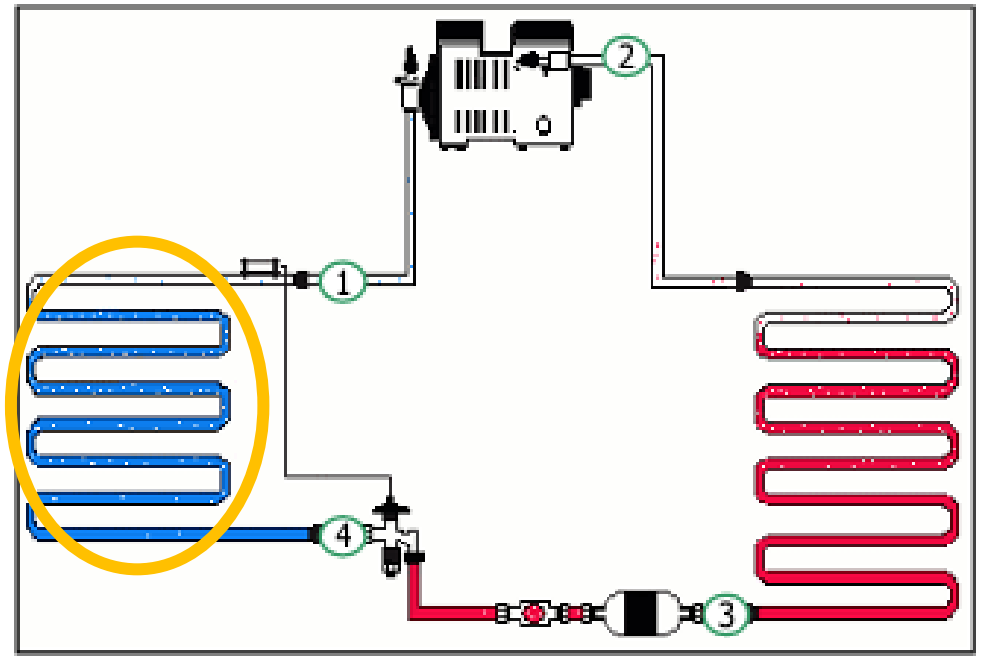
1.3. PRINCIPES THERMODYNAMIQUES POUR LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR

POMPE À CHALEUR (CYCLE RÉEL)

Évaporateur







- L'évaporateur absorbe la chaleur de la source de chaleur, ce qui fait évaporer le réfrigérant à basse pression et à basse température.

AC Evaporator - Spectra Premium. (2024). Retrieved November 7, 2024, from https://www.spectrapremium.com/en/aftermarket/north-america/ac-evaporator
Alfa Heating. (n. d.). Plate heat exchanger air dryer BL26 series. https://alfaheating.com/products/plate-heat-exchanger-air-dryer-bl26-series

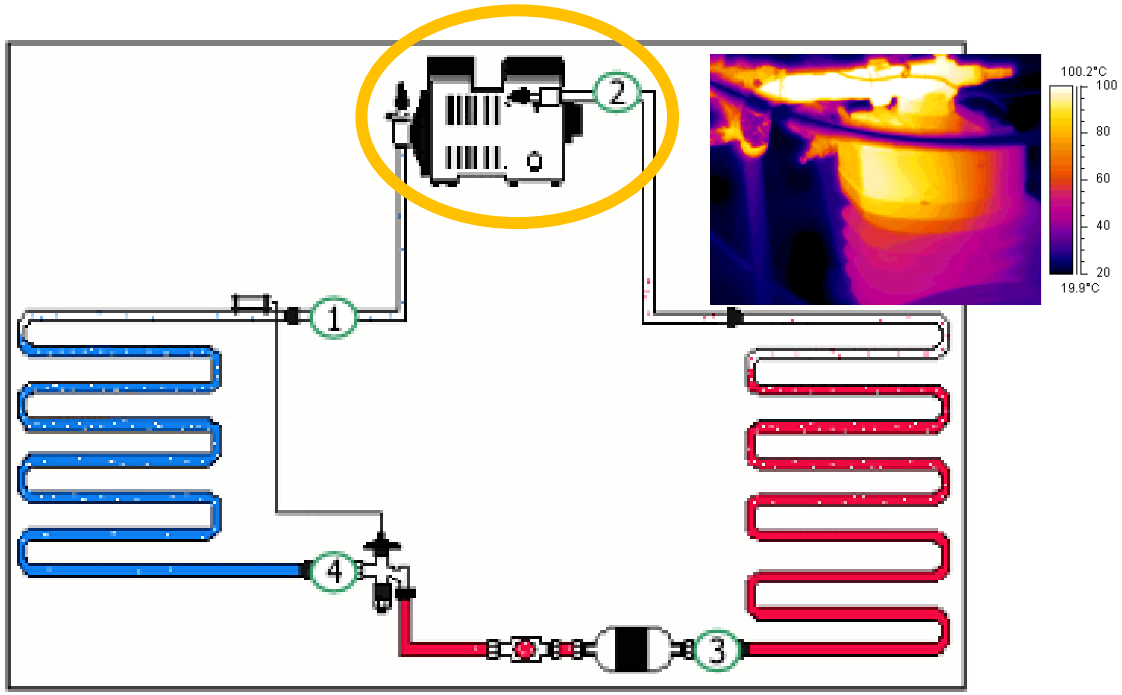
1.3. PRINCIPES THERMODYNAMIQUES POUR LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR

Cycle réel de compression vapeur

Compresseur







- Compresseur : augmente la pression et la température du réfrigérant en comprimant la vapeur.

Bitzer. (n.d.). Ecoline CE4 (lubricación por bomba). https://www.bitzer.de/es/es/compresores-de-piston/ecoline-ce4-lubricacion-por-bomba/

Danfoss. (n.d.). Compressors for refrigeration. https://www.danfoss.com/es-mx/products/dcs/compressors/compressors-for-refrigeration/

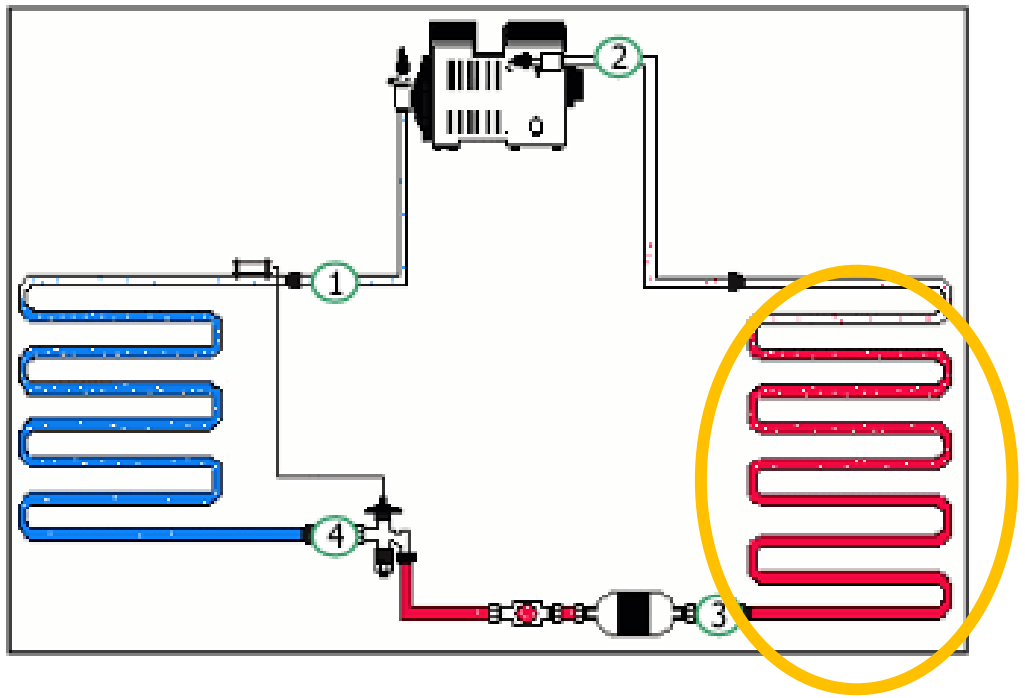
1.3. PRINCIPES THERMODYNAMIQUES POUR LE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR

Cycle réel de compression vapeur

Condenseur







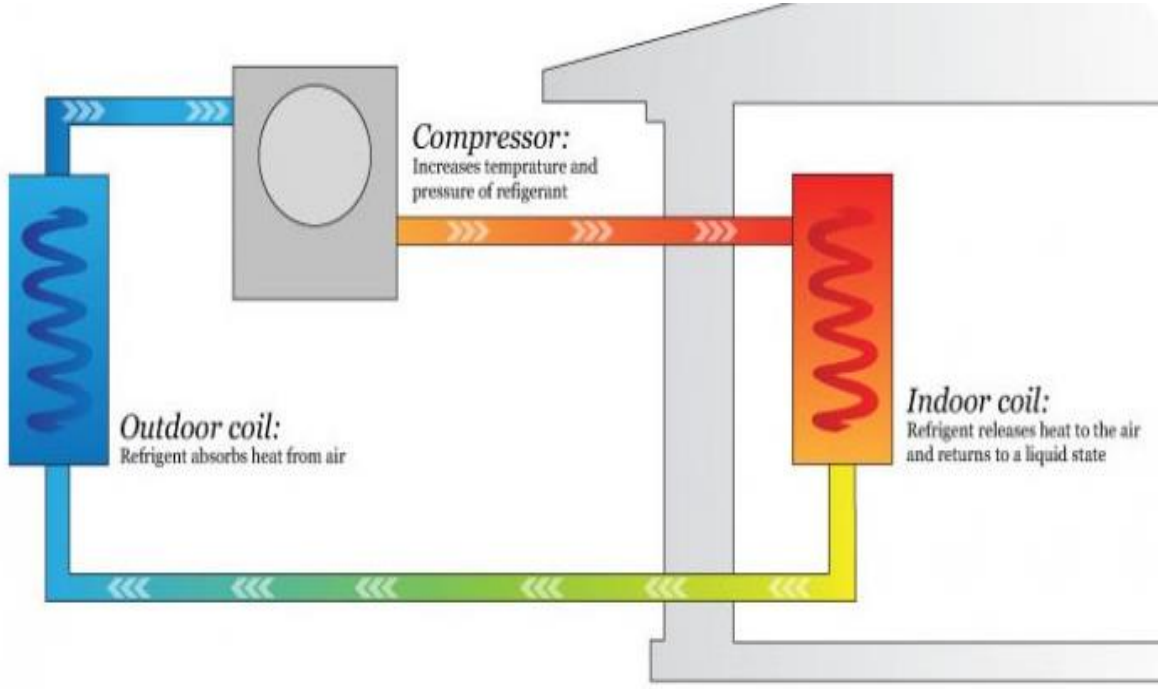
- Condenseur : libère de la chaleur vers le dissipateur et condense la vapeur de réfrigérant en liquide.

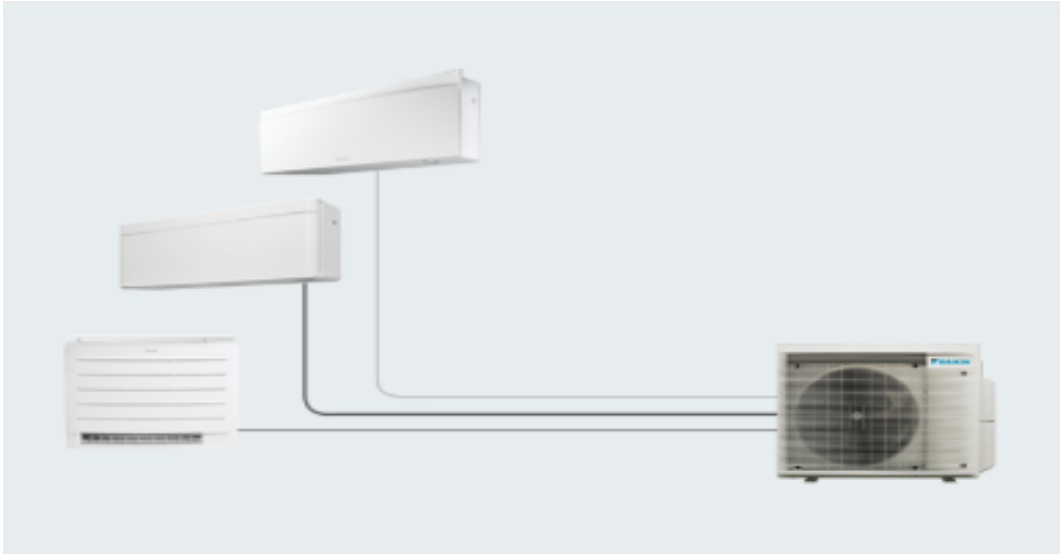
Alfa Heating. (n. d.). Plate heat exchanger air dryer BL26 series. https://alfaheating.com/products/plate-heat-exchanger-air-dryer-bl26-series

All Size Bundy Tube Steel Wire Condenser Refrigerator Condenser for Air Conditioner and Refrigeration - Refrigeration Condenser and Copper Tube Condenser. (2024). Retrieved November 7, 2024, from https://domicool.en.made-in-china.com/product/eFOGyngSEVUr/China-All-Size-Bundy-Tube-Steel-Wire-Condenser-Refrigerator-Condenser-for-Air-Conditioner-and-Refrigeration.html

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur air-air





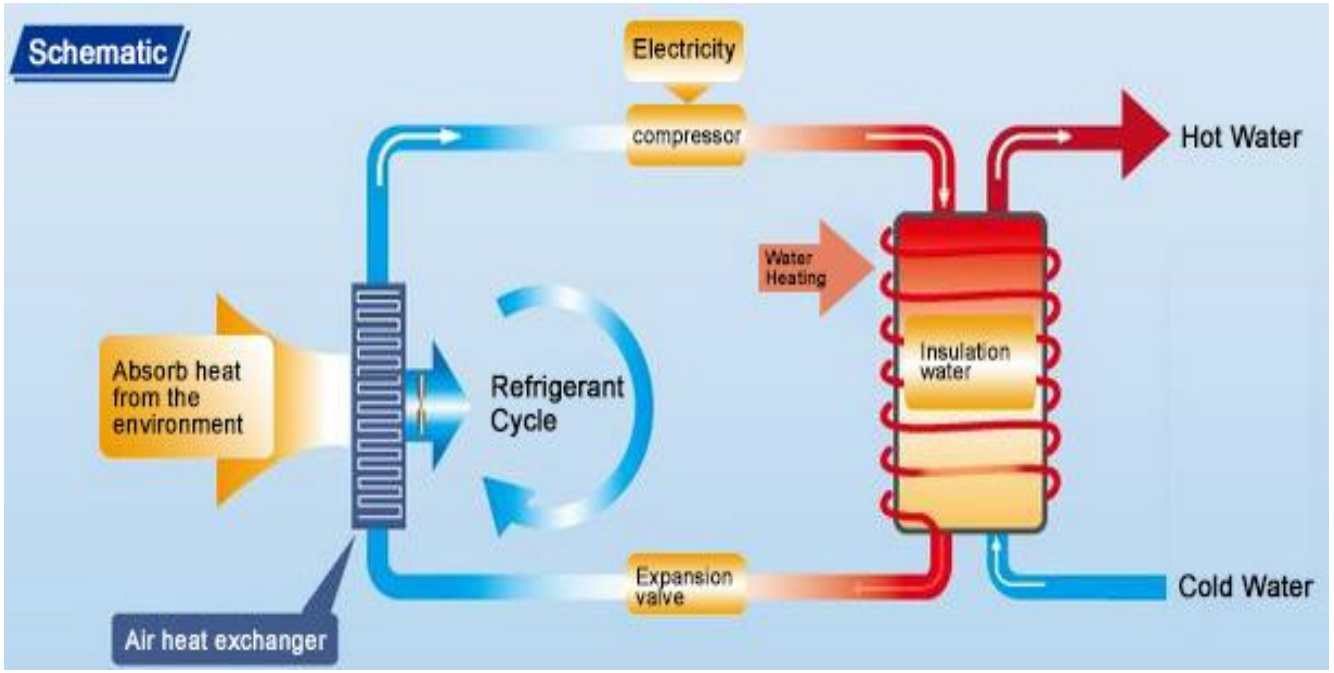
- Elle transfère la chaleur entre l'air extérieur et intérieur.
- Fournit à la fois chauffage et climatisation.
- Utilise des ventilateurs pour faire circuler l'air à travers l'évaporateur et le condenseur.
- Couramment utilisé dans les bâtiments résidentiels et commerciaux.

Air to Air Heat Pumps - MB Services. (2024). Retrieved November 7, 2024, from https://www.mbservicesgroup.com/funding/heat-pumps/air-to-air-heat-pumps/

Air to air heat pump technology | Daikin. (2024). Retrieved November 7, 2024, from https://www.daikin.eu/en_us/product-group/air-to-air-heat-pumps.html

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur air-eau





- Elle transfère la chaleur de l'air extérieur vers un circuit d'eau.
- Fournit le chauffage, la climatisation et l'eau chaude domestique.
- Peut alimenter le chauffage par le sol, les radiateurs ou les ventilo-convecteurs.
- Adapté aux bâtiments résidentiels et commerciaux.

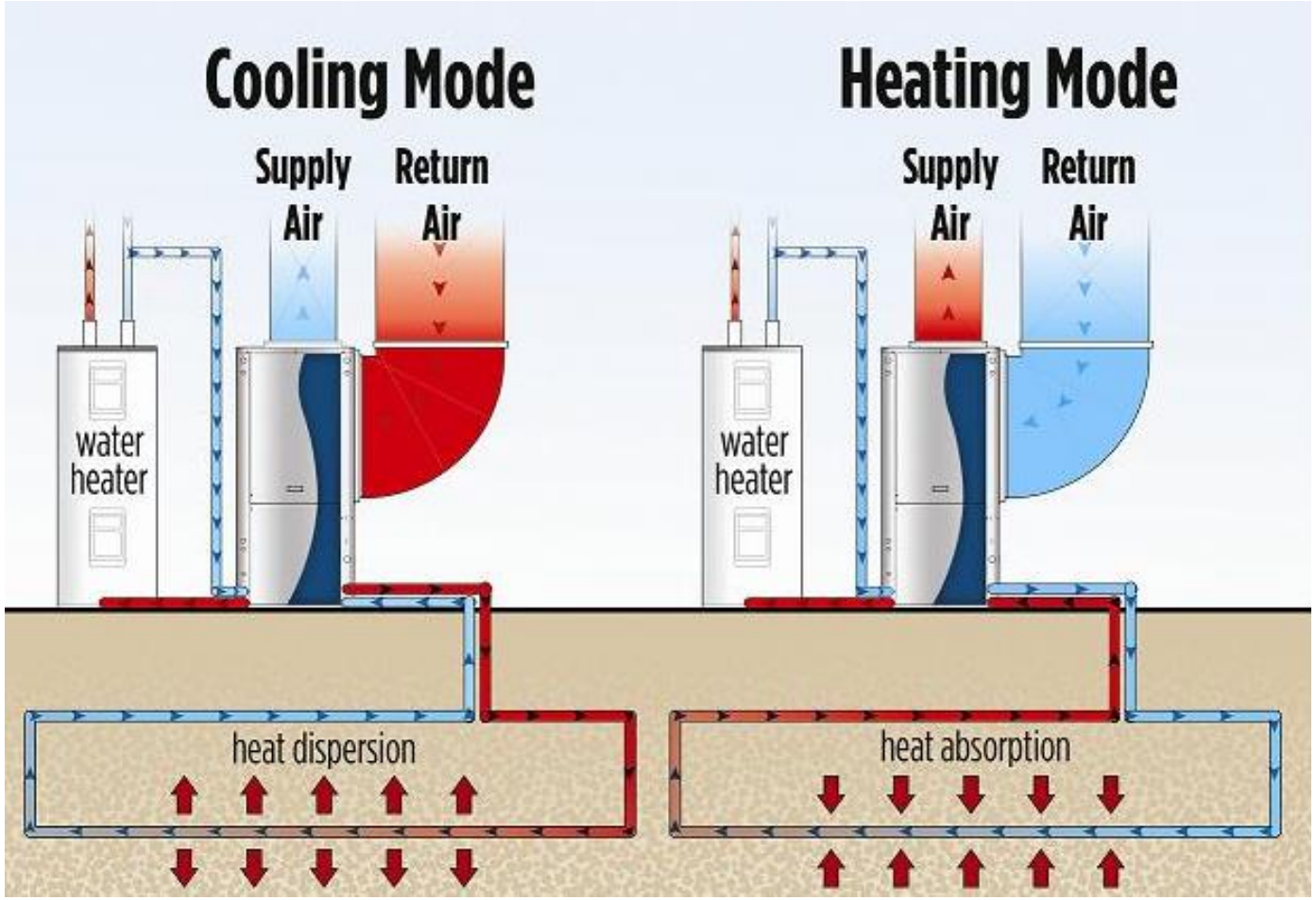
News - Powerworld heat pump manufacturers, OEM ODM heat pumps. (2022). Retrieved November 7, 2024, from https://www.powerworld-e.com/content.php?id=205

Daikin UHA075B5 Modular Air Source Heat Pump Water Heater at Rs 300000/piece | Heat Pump Water Heater in Kolkata | ID: 23824834988. (2024). Retrieved November 7, 2024, from https://www.indiamart.com/proddetail/daikin-uha075b5-modular-air-source-heat-pump-water-heater-23824834988.html

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur géothermiques

- Extrait la chaleur du sol par des tuyaux enfouis.
- Fournit chauffage, refroidissement et eau chaude domestique.
- Utilise la température stable du sol comme source ou puits de chaleur.
- Atteint une grande efficacité tout au long de l'année.
- Adapté aux applications résidentielles, commerciales et industrielles.

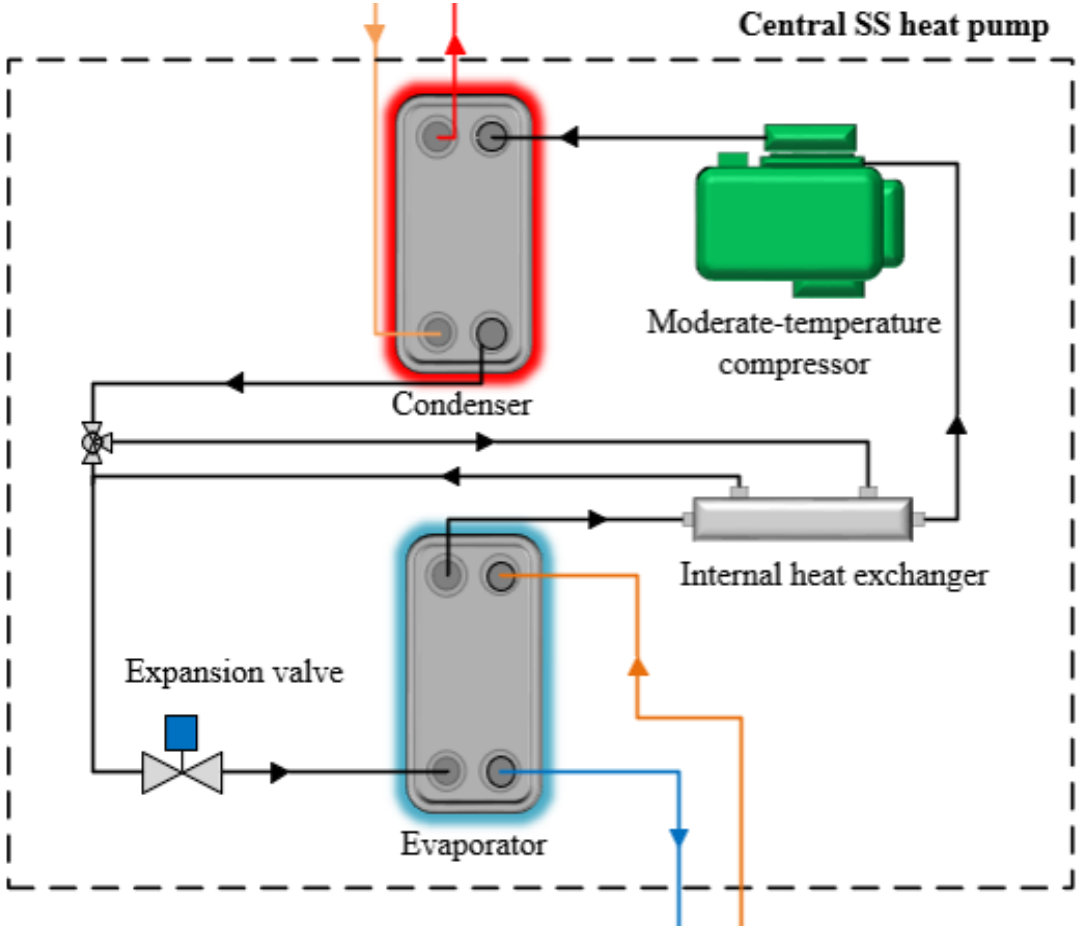


Shanklin Heating & Cooling. (2022, October 24). Are geothermal heat pumps worth it? https://www.shanklinheatingandcooling.com/blog/are-geothermal-heat-pumps-worth-it/

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur eau-eau

- Elle transfère la chaleur entre deux circuits d'eau.
- Utilise les eaux souterraines, les lacs, les rivières ou l'eau de traitement comme source ou puits de chaleur.
- Fournit chauffage, refroidissement et eau chaude domestique.
- Offre une grande efficacité grâce à la température stable des sources d'eau.
- Couramment utilisé dans les systèmes résidentiels, commerciaux et industriels.

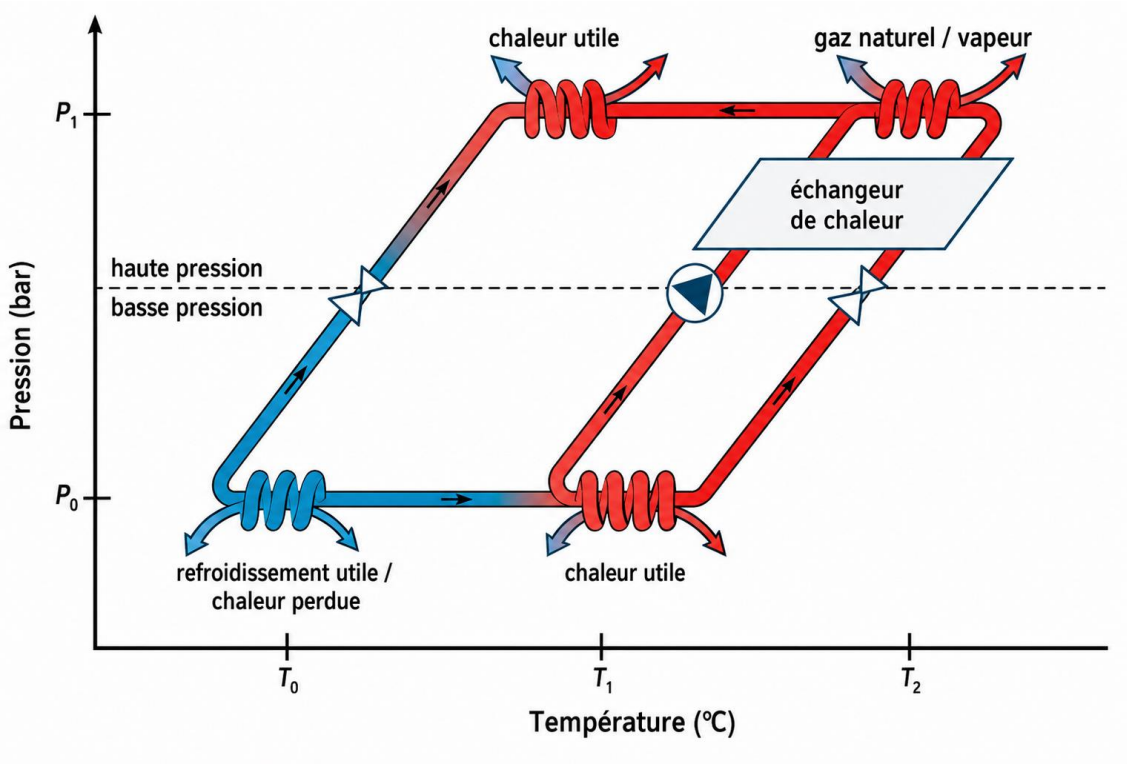


Alarnaot Alarnaout, G., Navarro-Esbrí, J., & Mota-Babiloni, A. (2024). Operational, economic, and carbon footprint feasibility of a moderately-high-temperature heat pump as an alternative to conventional boilers in various scenarios. Energy Conversion and Management, 309, 118424. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118424

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur à absorption

- Utilise de l'énergie thermique au lieu de la compression mécanique pour entraîner le cycle.
- Utilise une paire réfrigérant-absorbant, telle que l'eau-bromure de lithium ou l'ammoniac–eau.
- Améliore la chaleur résiduelle à basse température pour la rendre utile plus élevée.
- Adapté aux systèmes industriels de récupération de la chaleur résiduelle et à la cogénération.
- Nécessite une consommation d'électricité faible comparée aux pompes à chaleur à compression de vapeur.

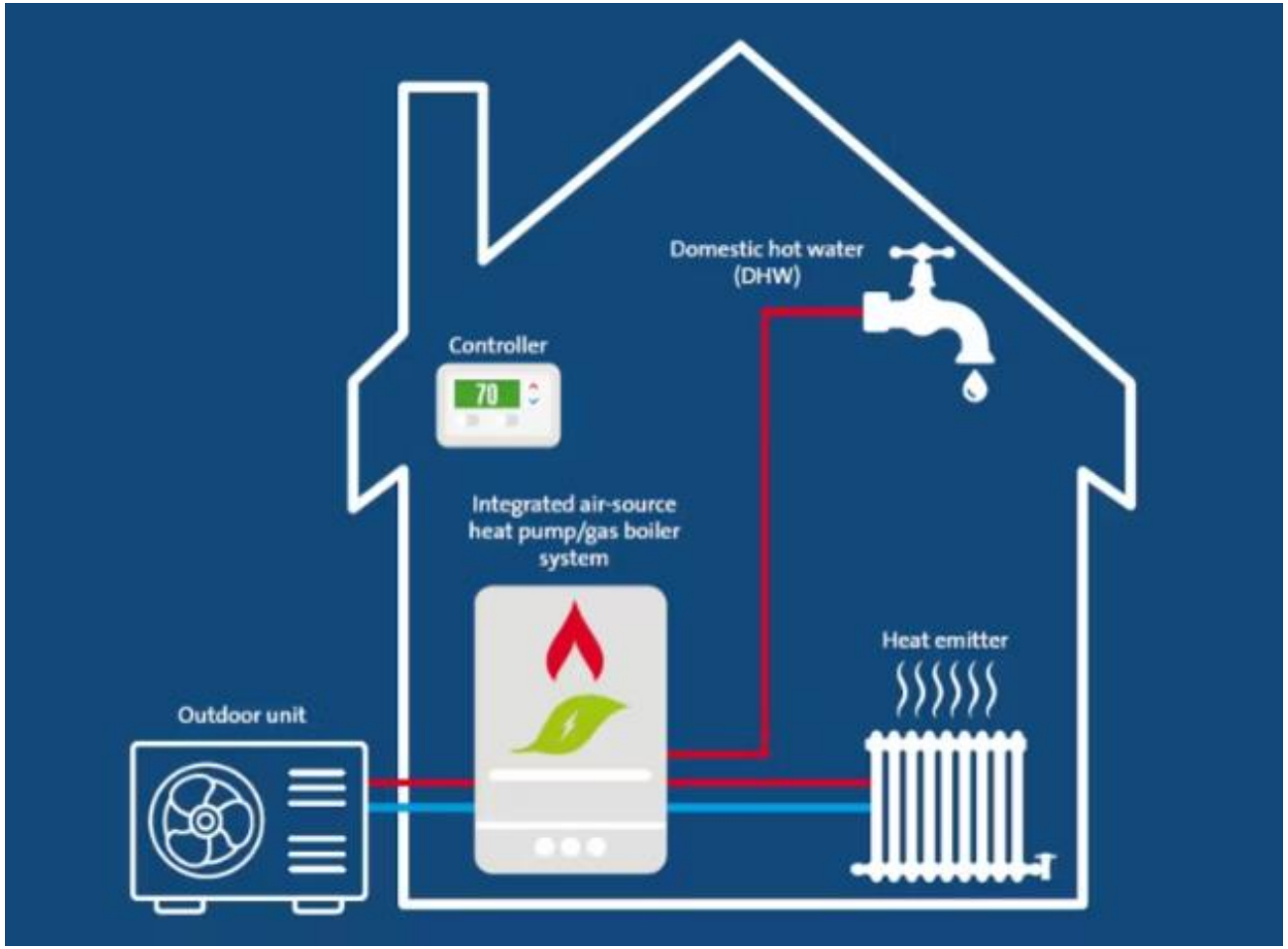


Absorption heat pump | Industrialheatpumps.nl. (2024). Retrieved November 7, 2024, from https://industrialheatpumps.nl/english/operating_principle/absorption_heat_pump/

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur hybrides

- Combine une pompe à chaleur avec un système de chauffage secondaire (par exemple, une chaudière).
- Passe automatiquement d'un système à l'autre selon l'efficacité et la demande.
- Optimise la consommation d'énergie en priorisant la source de chaleur la plus efficace.
- Adapté aux bâtiments à charges de chauffage variables ou climats froids.
- Améliore la fiabilité et la performance globale du système.

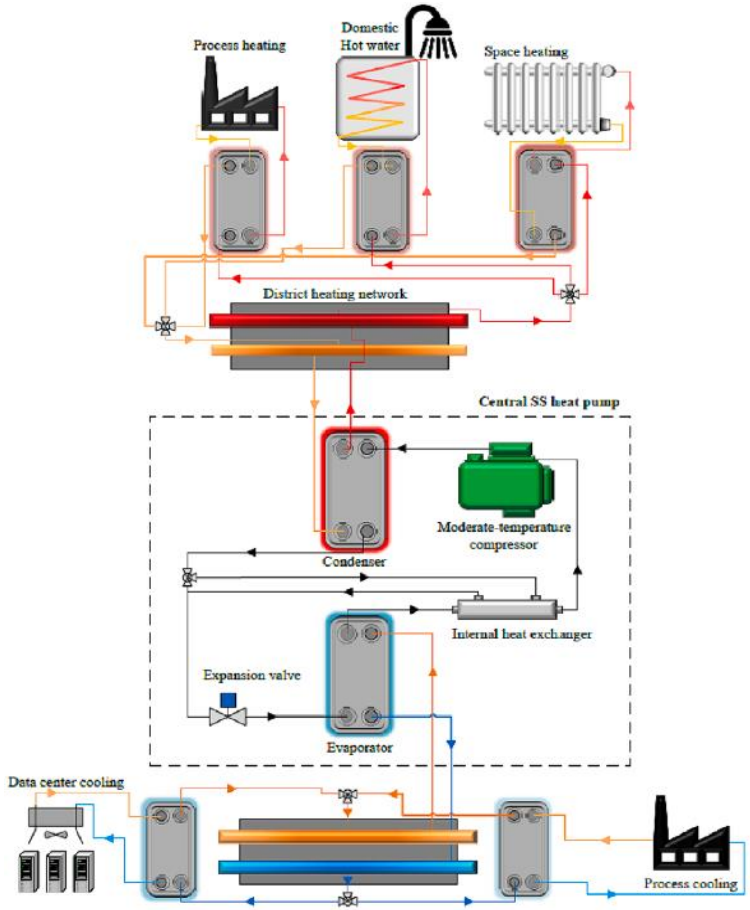


Transforming the heating industry | Grundfos. (n.d.). Retrieved November 7, 2024, from https://www.grundfos.com/solutions/learn/research-and-insights/hvac-oem-hybrid-solutions

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur à double service

- Fournit deux services, généralement chauffage et climatisation, utilisant un seul système.
- Peut fournir simultanément la climatisation de l'espace et l'eau chaude domestique ou traiter la chaleur.
- Fonctionne en récupérant et en réallouant la chaleur entre différentes sorties.
- Améliore l'efficacité globale du système grâce à la récupération de chaleur interne.
- Courant dans les bâtiments commerciaux, ainsi que dans les systèmes CVC intégrés.

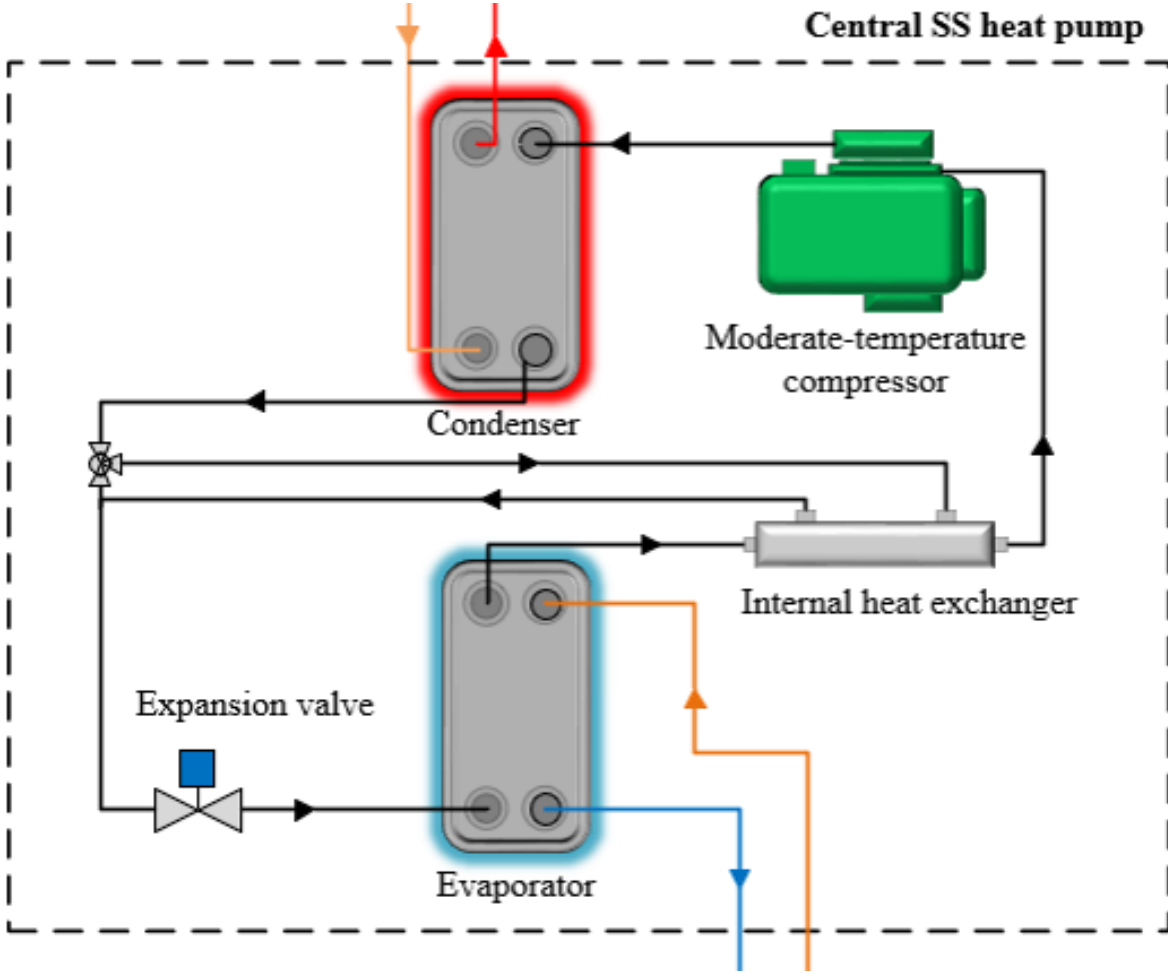


Alarnaot Alarnaout, G., Navarro-Esbrí, J., & Mota-Babiloni, A. (2024). Operational, economic, and carbon footprint feasibility of a moderately-high-temperature heat pump as an alternative to conventional boilers in various scenarios. Energy Conversion and Management, 309, 118424. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118424

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur inverter

Fonctionnement : Les pompes à chaleur inverter permettent d'ajuster la vitesse du compresseur en fonction de la demande de chauffage ou de climatisation. Cela permet au système de fonctionner plus efficacement en réponse à des conditions variables.

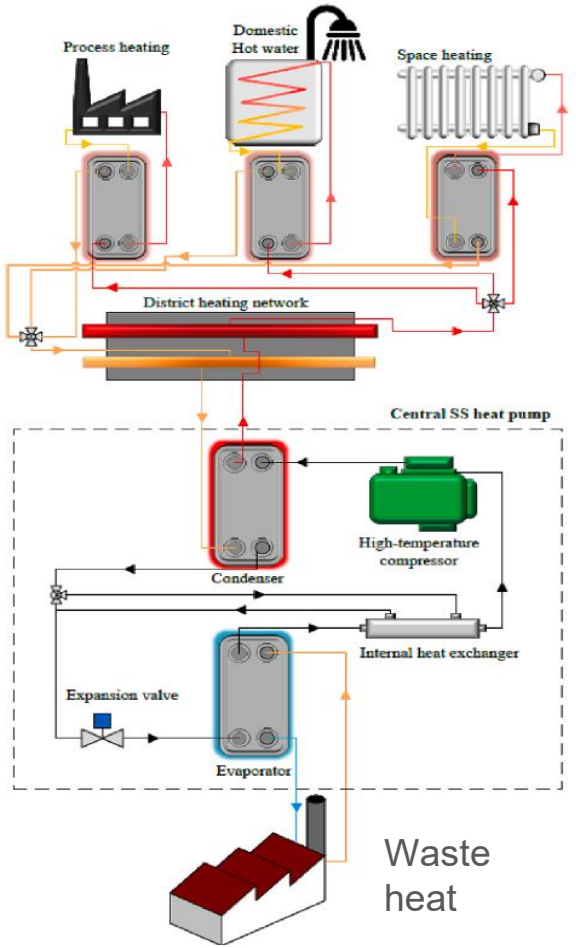


Alarnaot Alarnaout, G., Navarro-Esbrí, J., & Mota-Babiloni, A. (2024). Operational, economic, and carbon footprint feasibility of a moderately-high-temperature heat pump as an alternative to conventional boilers in various scenarios. Energy Conversion and Management, 309, 118424. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118424

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Pompes à chaleur résiduelle

- Récupérer la chaleur résiduelle de faible qualité et la mettre à une température utile plus élevée.
- Utiliser un cycle de compression vapeur ou thermique.
- Améliorer l'efficacité énergétique globale en réutilisant la chaleur rejetée par les procédés industriels.
- Adapté aux applications industrielles, réseaux de chaleur et bâtiments.
- Réduire la consommation de combustibles et les émissions de gaz à effet de serre.



Alarnaot Alarnaout, G., Navarro-Esbrí, J., & Mota-Babiloni, A. (2024). Operational, economic, and carbon footprint feasibility of a moderately-high-temperature heat pump as an alternative to conventional boilers in various scenarios. Energy Conversion and Management, 309, 118424. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118424

1.4. TECHNOLOGIES DE POMPES À CHALEUR

Classification des pompes à chaleur : En fonction de la température de production

Les pompes à chaleur sont classées en fonction de la température de la chaleur qu'elles produisent, ce qui détermine leur adéquation à différentes applications.
La classification inclut généralement :

Pompes à chaleur basse température (<45°C) Température d'alimentation typique : 30°C - 45°C (chauffage d'appoint)

Pompes à chaleur moyenne (45°C – 75/90°C) Température d'alimentation typique : 45°C - 75°C

Pompes à chaleur haute température (>75/90°C) Température typique d'alimentation : 75°C - 150°C et plus

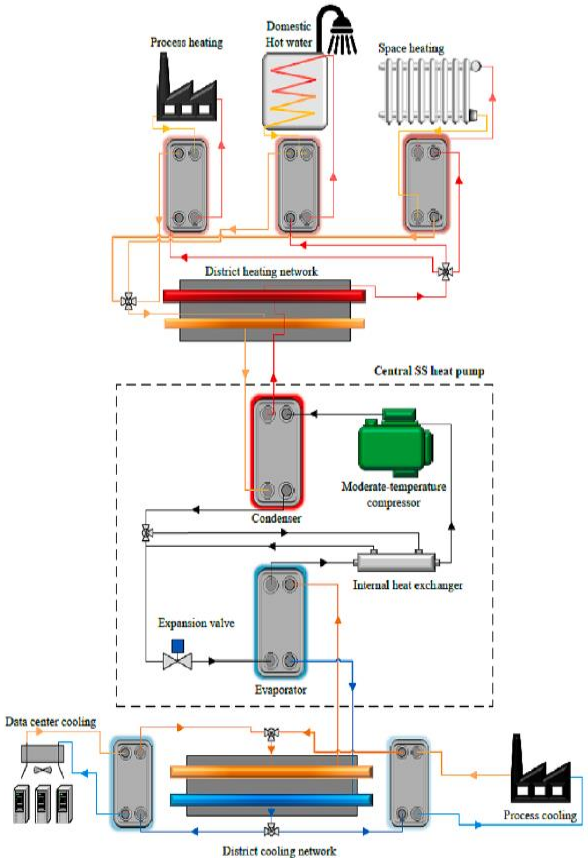
1.5. APPLICATION DE POMPE À CHALEUR DANS LA CHALEUR USAGÉE

Pompes à chaleur résiduelle

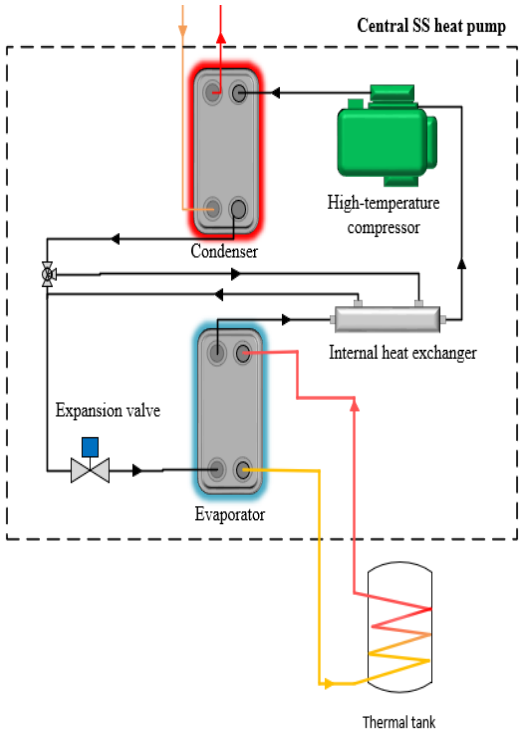
Les applications les plus courantes des pompes à chaleur pour la récupération de chaleur résiduelle incluent :

Distilleries
Blanchisseries industrielles
Systèmes de chauffage urbain à chaleur usagée
Supermarchés (récupération de chaleur par réfrigération)
Centres de données
Industrie alimentaire et des boissons (brasseries, laiteries, entrepôts frigorifiques)
Usines chimiques et pétrochimiques
Industrie du papier et de la pâte à papier
Industrie textile
Transformation des métaux et fonderies
Stations d'épuration des eaux usées
Hôpitaux et grands établissements de santé
Hôtels et grands bâtiments commerciaux
Patinoires (récupération de chaleur grâce aux systèmes de fabrication de glace)
Centrales électriques et centrales de cogénération

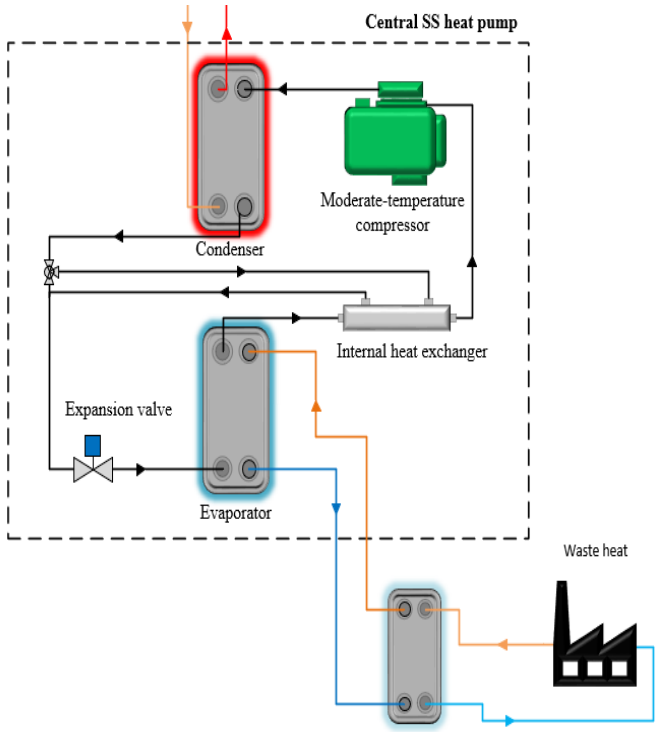
1.6. CONFIGURATIONS ET CONNEXIONS DES POMPES À CHALEUR POUR DIVERSES SOURCES DE CHALEUR RÉSIDUELLE



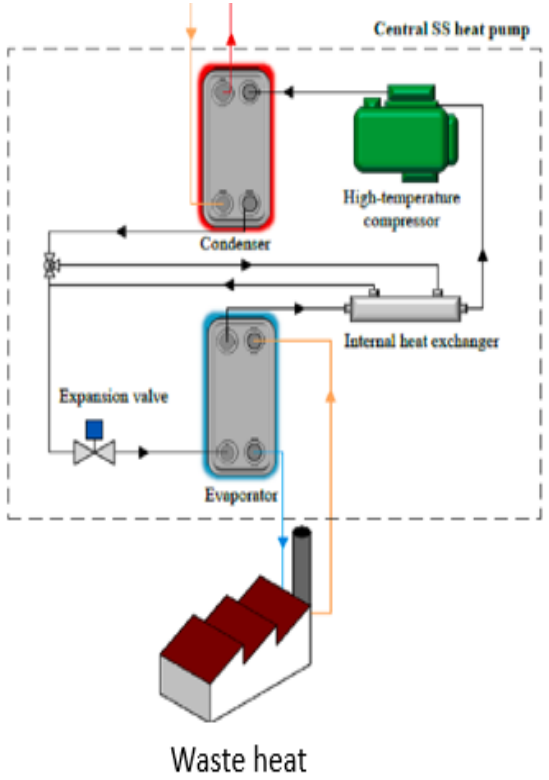
Système en boucle fermée avec fluides thermiques secondaires



Systèmes de stockage (réservoirs thermiques)



Échangeur de chaleur intermédiaire (système indirect)



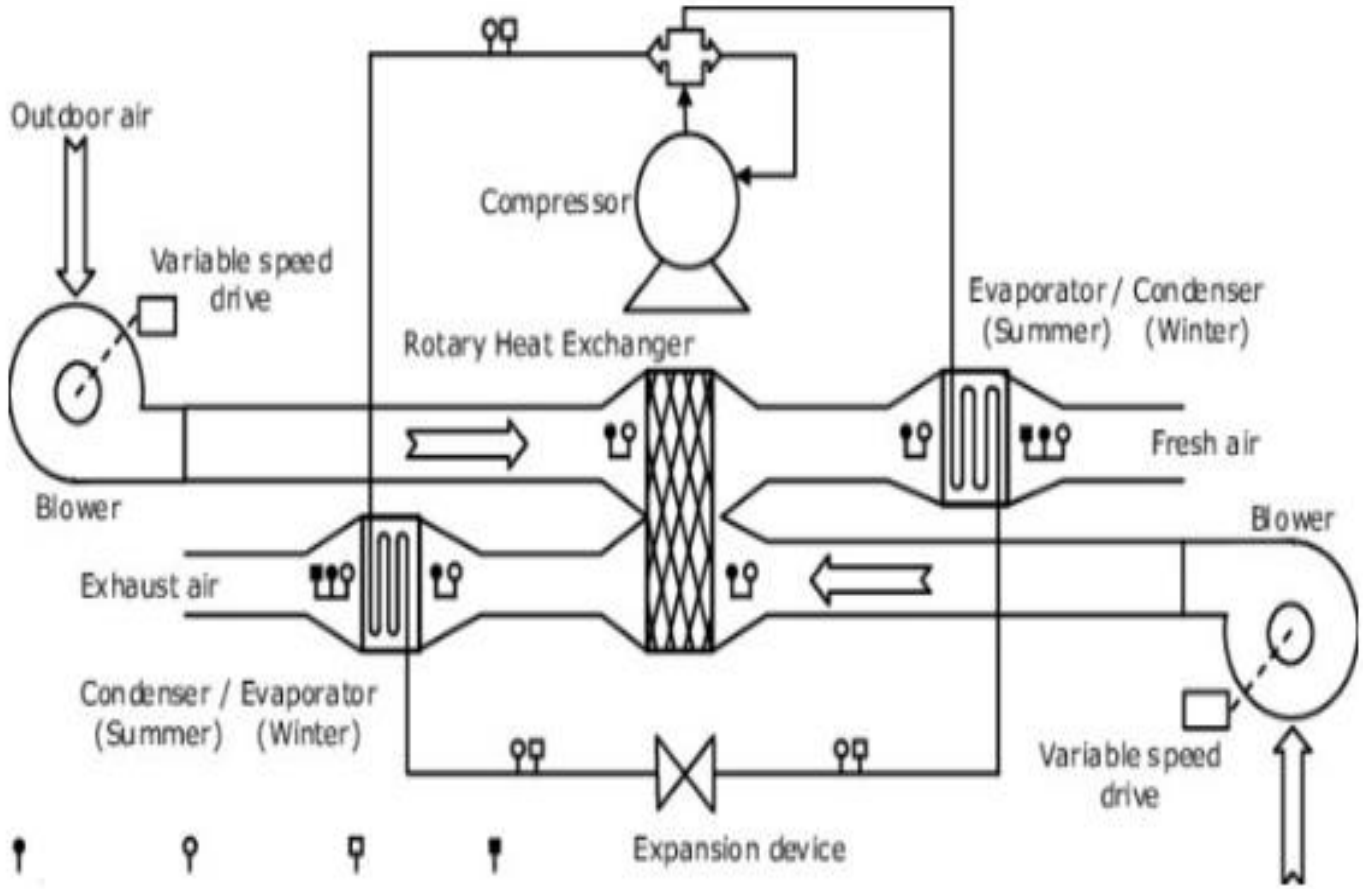
Connexion directe à un circuit primaire

Alarnaot Alarnaout, G., Navarro-Esbrí, J., & Mota-Babiloni, A. (2024). Operational, economic, and carbon footprint feasibility of a moderately-high-temperature heat pump as an alternative to conventional boilers in various scenarios. Energy Conversion and Management, 309, 118424. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118424

1.6. CONFIGURATIONS ET CONNEXIONS DES POMPES À CHALEUR POUR DIVERSES SOURCES DE CHALEUR RÉSIDUELLE

Intégration avec les flux d'air ou de gaz

- Intégration avec des systèmes de ventilation pour la récupération de chaleur dans les applications CVC.
- Utilisation des flux d'air d'extraction (par exemple, provenant des bâtiments ou des procédés industriels) comme source de chaleur.
- La récupération de la chaleur provenant des gaz de combustion dans les chaudières, fours et systèmes de combustion.
- Préchauffage de l'air frais entrant à l'aide de systèmes de pompes à chaleur pour réduire la demande de chauffage.
- Courant dans la ventilation à récupération d'énergie (ERV) et les unités industrielles de traitement de l'air.



Žandeckis, A., Klavina, K., Dzikevics, M., Kirsanovs, V., & Žogla, G. (2015). Solutions for Energy Efficient and Sustainable Heating of Ventilation Air: A Review. Journal of Engineering Science and Technology Review, 8, 98–111. https://doi.org/10.25103/jestr

1.7. ÉTUDE DE CAS DES POMPES À CHALEUR UTILISANT LA CHALEUR RÉSIDUELLE

Projet Aurivo (étude de cas en Irlande)

Réalisations :

Première centrale à utiliser de l'eau produite par pompe à chaleur à 80 degrés.

Réduction du carbone de 780 tonnes par an.

Diminution de 8 % de la consommation d'électricité sur place.



Donegal dairy plant cuts costs by €347,000 | Case study | SEAI. (2024). Retrieved November 7, 2024, from https://www.seai.ie/case-studies/dairy-plant-cuts-costs

1.7. ÉTUDE DE CAS DES POMPES À CHALEUR UTILISANT LA CHALEUR RÉSIDUELLE

Étude de cas de trois installations industrielles de pompes à chaleur en activité au Canada.

Données économiques

Trois installations différentes de pompes à chaleur résiduelles ont été utilisées pour réduire le coût énergétique dans les différentes installations :

	Fabricant de pétrole	Laiterie	Mine
Utilisation de l'énergie électrique (kW)	97	103	60
Coefficient de performance	5.4	3.8	5.3 4.5
Coût électrique ($/kWh)	0.0322	0.028	0.038
Durée d'opération (hr/an)	4021	1800	-
Économies ($)	97690	21290	-
Coût d'installation ($)	224096	101077	150643
Temps de retour (ans)	2.29	4.75	-

Wright, J. R., & Steward, F. R. (1985). Three industrial heat pump installations operating in Canada. Journal of Heat Recovery Systems, 5(2), 81–88. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0198-7593(85)90040-2

1.7. ÉTUDE DE CAS DES POMPES À CHALEUR UTILISANT LA CHALEUR RÉSIDUELLE

Étude de cas sur les pompes à chaleur à grande échelle dans la modernisation du système de chauffage urbain de Vienne, en Autriche.

Spécifications technologiques	
Zone d'installation	Vienne, Autriche
Applications de procédé	Récupération de la chaleur résiduelle (eau et électricité)
Capacité thermique produite	40 MW
Équivalence de capacité de chauffage	25 000 logements
Fabricant de pompes à chaleur	Friotherm
Mise en service	2018



CEE Bankwatch Network. (2022, May). District heating in Vienna: A case study on the path to climate neutrality. https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2022/05/2022-05_Case-study-Vienna_eng.pdf

1.7. ÉTUDE DE CAS DES POMPES À CHALEUR UTILISANT LA CHALEUR RÉSIDUELLE

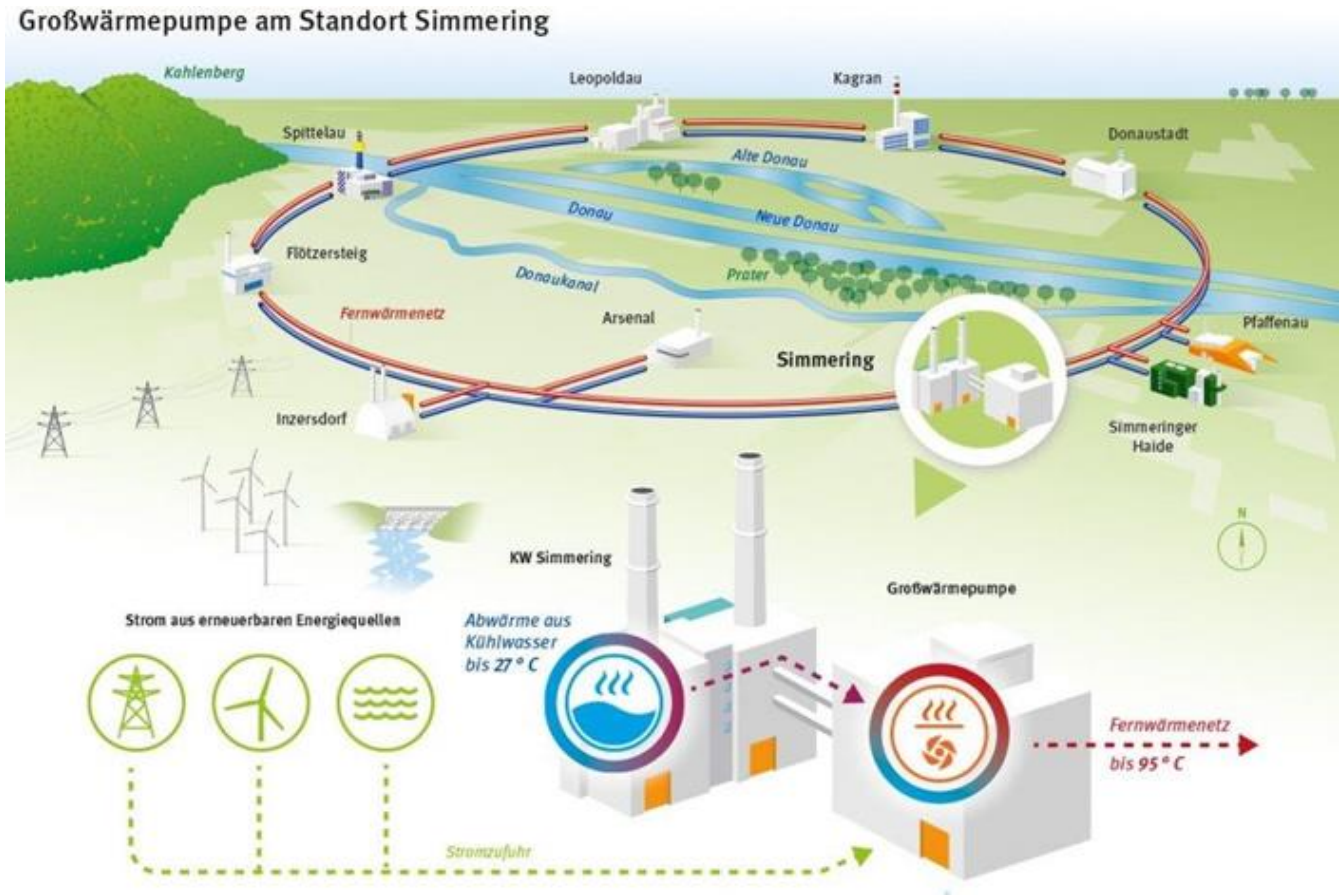
Étude de cas sur les pompes à chaleur à grande échelle dans la modernisation du système de chauffage urbain de Vienne, en Autriche.

Plus grande pompe à chaleur d'Europe centrale (Vienne)

Investissement de 15 millions d'euros par Wien Energy

Chauffe 25 000 foyers grâce à la chaleur résiduelle du canal du Danube

Fournit un chauffage urbain à 100–150 °C



CEE Bankwatch Network. (2022, May). District heating in Vienna: A case study on the path to climate neutrality. https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2022/05/2022-05_Case-study-Vienna_eng.pdf

Merci!

Module 3.2 – Utilisation de la chaleur résiduelle et pompes à chaleur
SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities

https://www.shakeproject-dhc.eu/

Développé par Universitat Jaume I de Castellón and Budapest University of Technology and Economics
Dr. Adrián Mota-Babiloni | mota@uji.es
Ghad Alarnaot-Alarnaout | alarnaot@uji.es
Balázs Bokor | bokor.balazs@gpk.bme.hu

Co-funded by the European Union

