# Module 3 : Production de chaleur

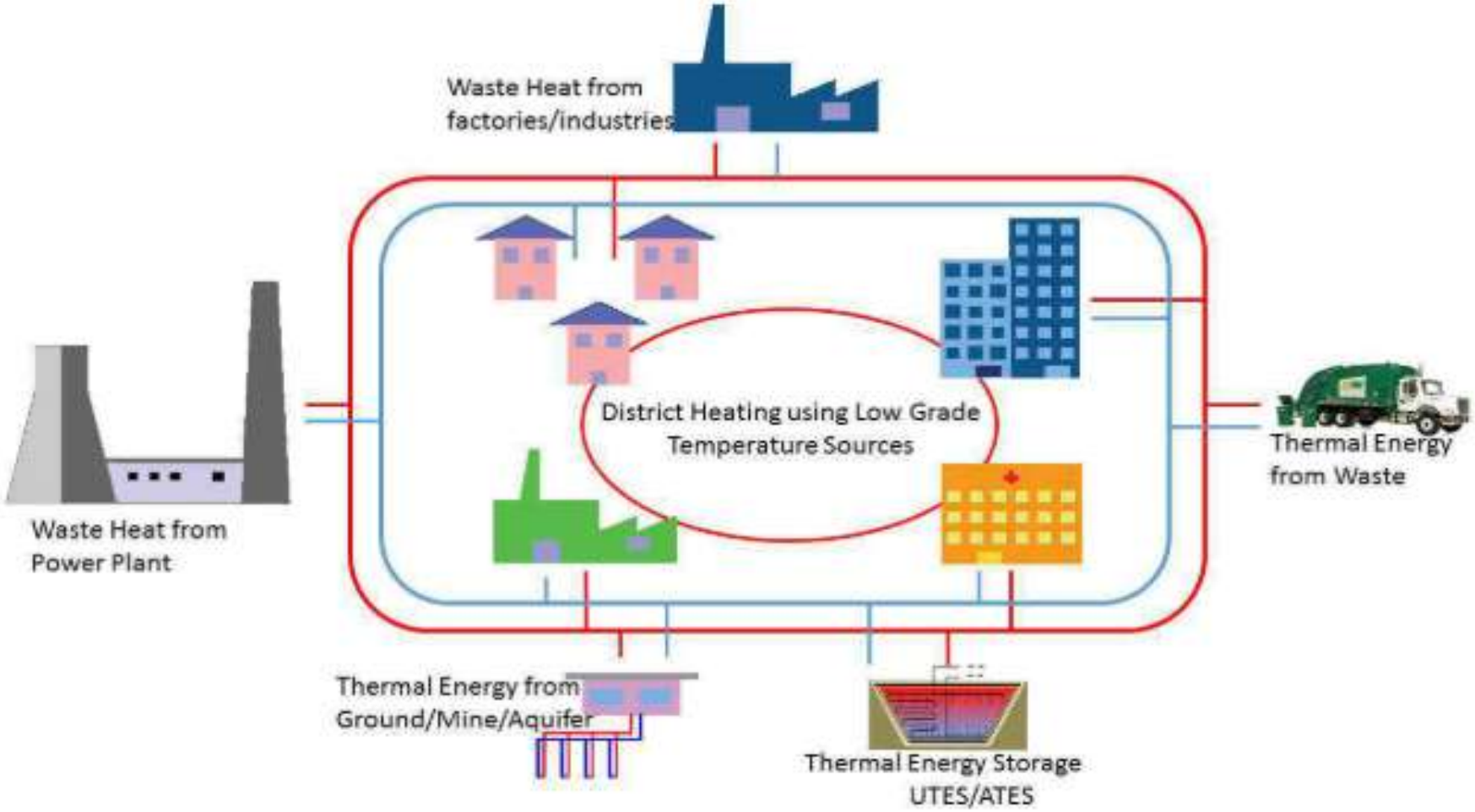
*Version pour la formation professionnelle intensive*

SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities_x000B_Erasmus+ KA220-HED Partenariats de coopération dans l'enseignement supérieur_x000B_Établissements responsables : Universitat Jaume I de Castellón_x000B_Auteurs : Ghad Alarnaout-Alarnaout, Dr. Adrián Mota-Babiloni_x000B_Date : juillet 2026_x000B_Version 1.1

SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities



# RÉUTILISATION DE LA CHALEUR FATALE




*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/*

# CLASSIFICATION DE LA CHALEUR FATALE

Une classification plus détaillée par plages de température figure dans la source de la diapositive :

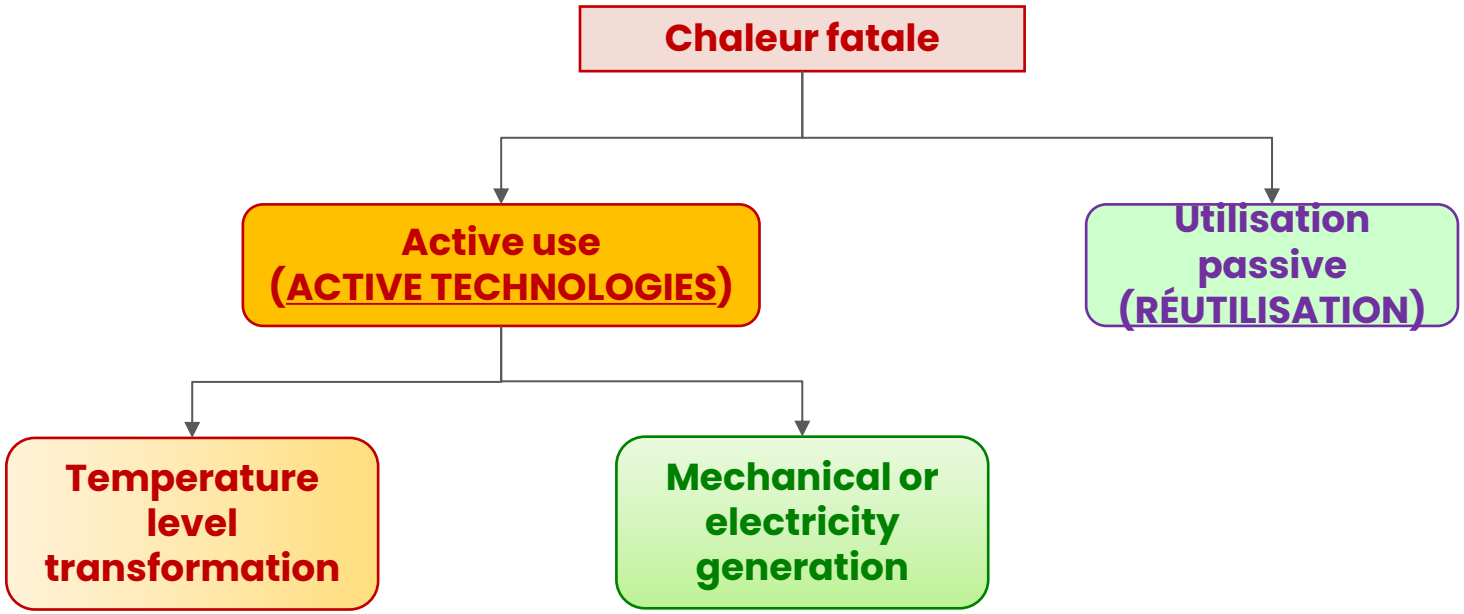
| Ultra-low-grade ($T_{amb}$-60) | Low-grade (60-100 °C) | Medium-grade (100-400 °C ) | High-grade (>400 °C) |
|---|---|---|---|
| • Data centers<br>• Energy storage system<br>• HVAC facility<br>• Waste water sewage<br>• Geothermal<br>• Biologic descomposition<br>• Solar thermal | • Internal combustion engine (jacket coolant)<br>• Industrial process stream (manufacturing)<br>• Hidrothermal<br>• Anaerobic digestion | • Internal combustion engine (exhaust gas)<br>• Power plant exhaustIndustrial process stream (chemical & food)<br>• Geothermal (volcanic areas<br>• Fermentation processes | • Industrial process stream (iron & steel)<br>• Power plant exhaust (gas turbine)<br>• Inceneration processes |

*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*

# TECHNOLOGIES DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

## VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

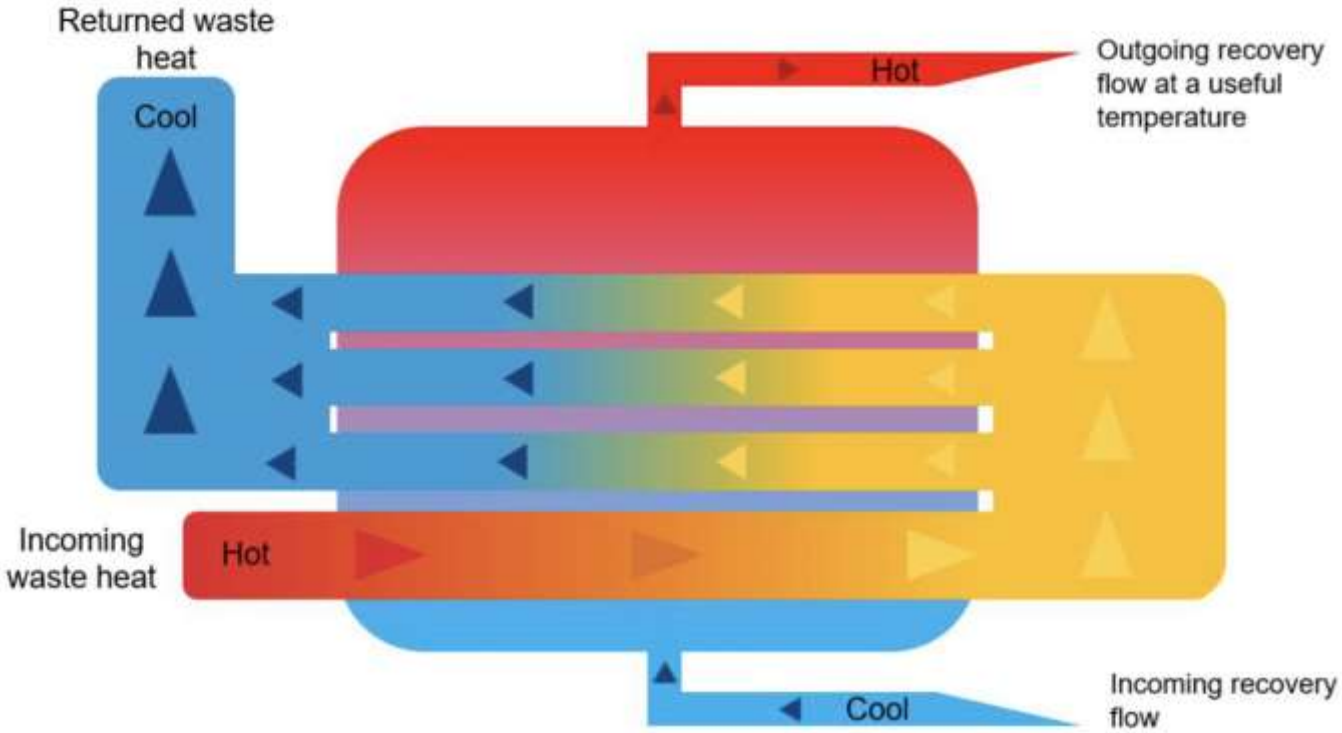
Comme indiqué précédemment, les échangeurs sont les technologies les plus courantes pour récupérer la chaleur fatale. Celle-ci peut être réutilisée directement ou transformée, à l'aide de technologies actives, en chaleur à un autre niveau de température ou en énergie mécanique ou électrique.



# TECHNOLOGIES DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

## RÉUTILISATION

**Générateur de vapeur de récupération (HRSG) : échangeur utilisant la chaleur des gaz d'échappement chauds pour produire 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*

# TECHNOLOGIES DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

## RÉUTILISATION

**Économiseurs : échangeurs récupérant la chaleur des fumées ou des fluides de procédé pour préchauffer l'eau ou l'air.**

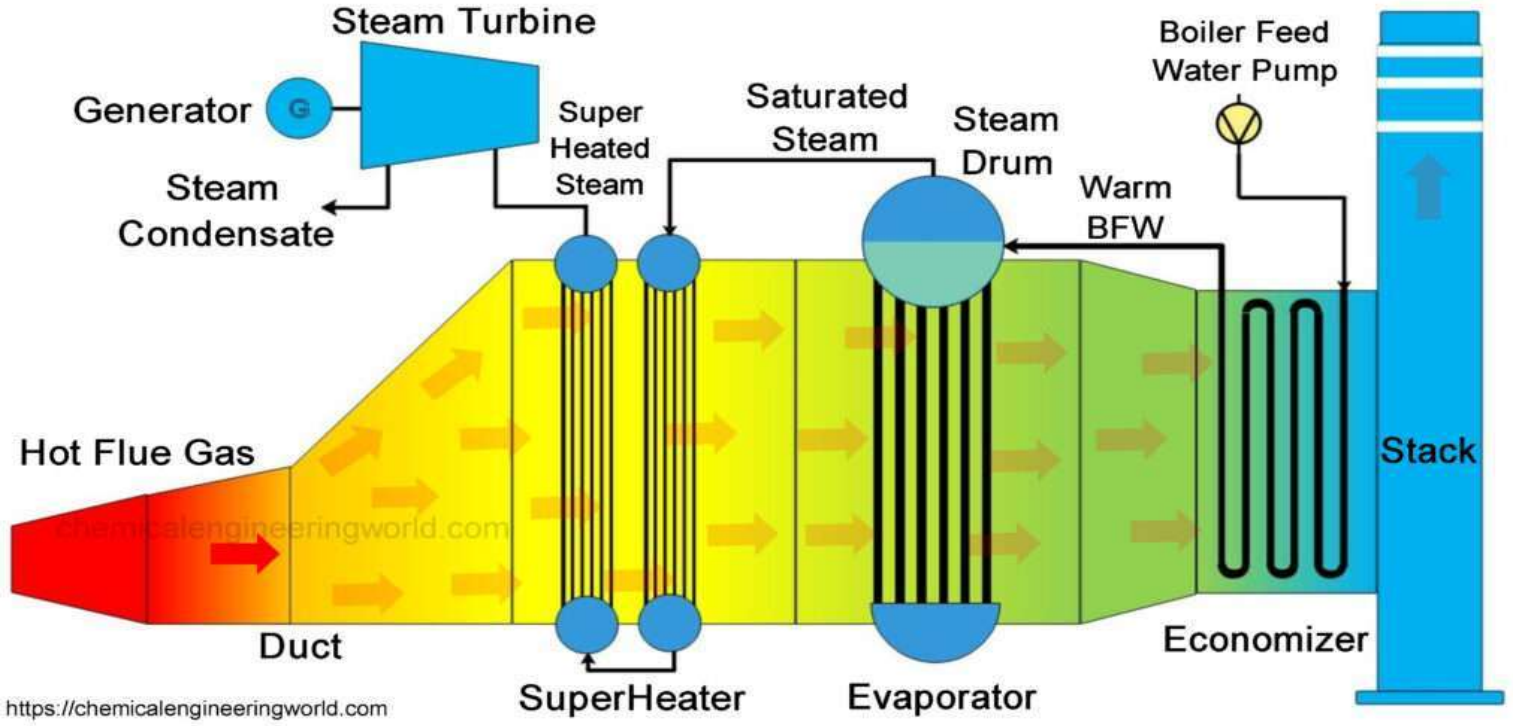


*Ove Arup & Partners Limited. (2024). Waste heat recovery: An introductory guide (Final report). Scottish Enterprise; Scottish Government. https://www.scottish-enterprise.com/media/efunpssc/waste-heat-recovery-guide.pdf*

# TECHNOLOGIES DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

## RÉUTILISATION

**Chaudières de récupération : systèmes analogues aux chaudières à gaz, utilisant la chaleur fatale plutôt que du gaz pour chauffer un fluide utile, généralement de l'eau.**



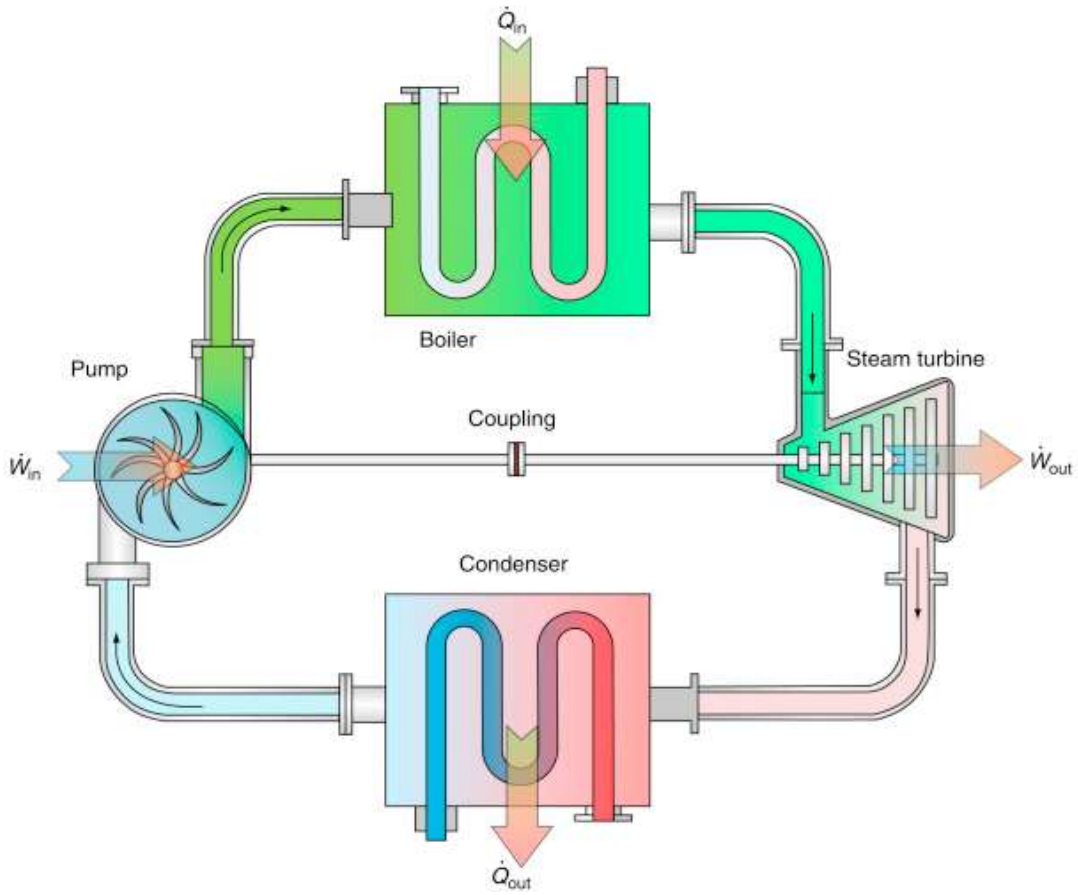

*Ove Arup & Partners Limited. (2024). Waste heat recovery: An introductory guide (Final report). Scottish Enterprise; Scottish Government. https://www.scottish-enterprise.com/media/efunpssc/waste-heat-recovery-guide.pdf*

# TECHNOLOGIES DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

## TECHNOLOGIES ACTIVES (CONVERSION DE CHALEUR FATALE EN ÉLECTRICITÉ)

### Cycle de Rankine

- Convertit la chaleur fatale en énergie électrique ou mécanique à l'aide d'un fluide organique.
- Adapté aux sources de chaleur basse et moyenne température.
- Plus efficace que les cycles vapeur classiques à température modérée.
- Couramment utilisé pour la récupération industrielle de chaleur et les énergies renouvelables.



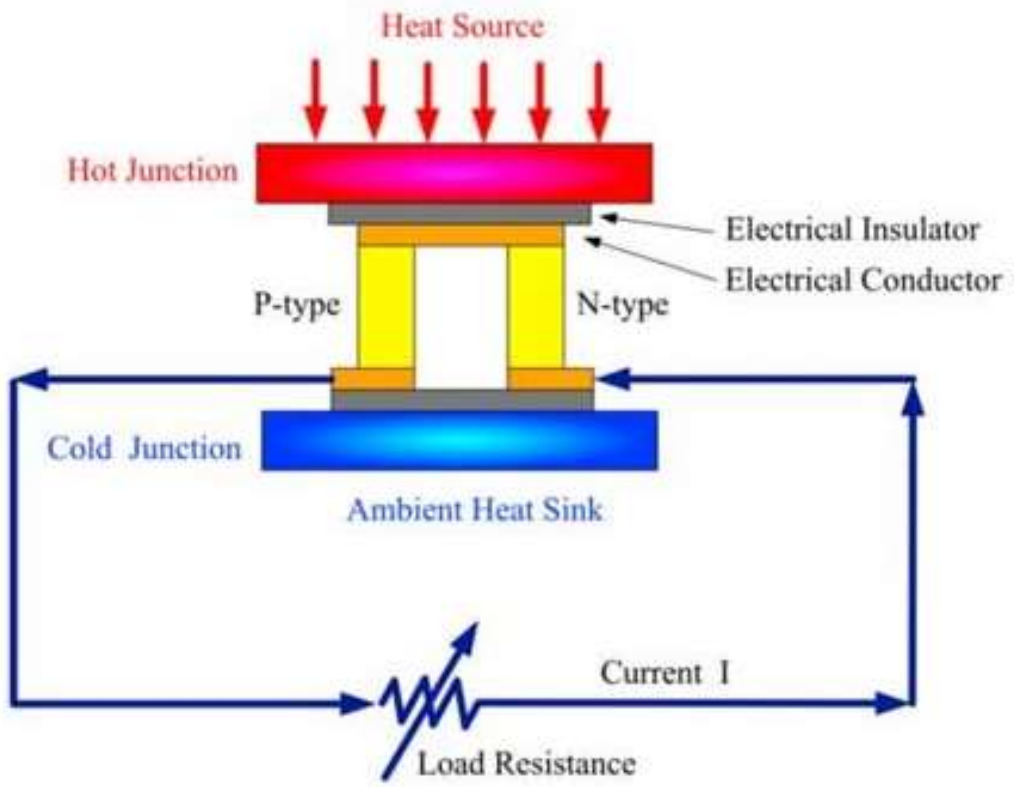

*Dincer, I. (2018). 1.6 Exergy. In I. Dincer (Ed.), Comprehensive Energy Systems (pp. 212–264). Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00106-1*

# TECHNOLOGIES DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

## TECHNOLOGIES ACTIVES (CONVERSION DE CHALEUR FATALE EN ÉLECTRICITÉ)

### Thermoélectrique

- Convertit directement la chaleur en électricité grâce à l'effet thermoélectrique.
- Sans pièces mobiles, donc nécessitant peu de maintenance.
- Rendement inférieur à celui des systèmes ORC.
- Adapté à la production de faibles puissances électriques à partir de chaleur fatale.



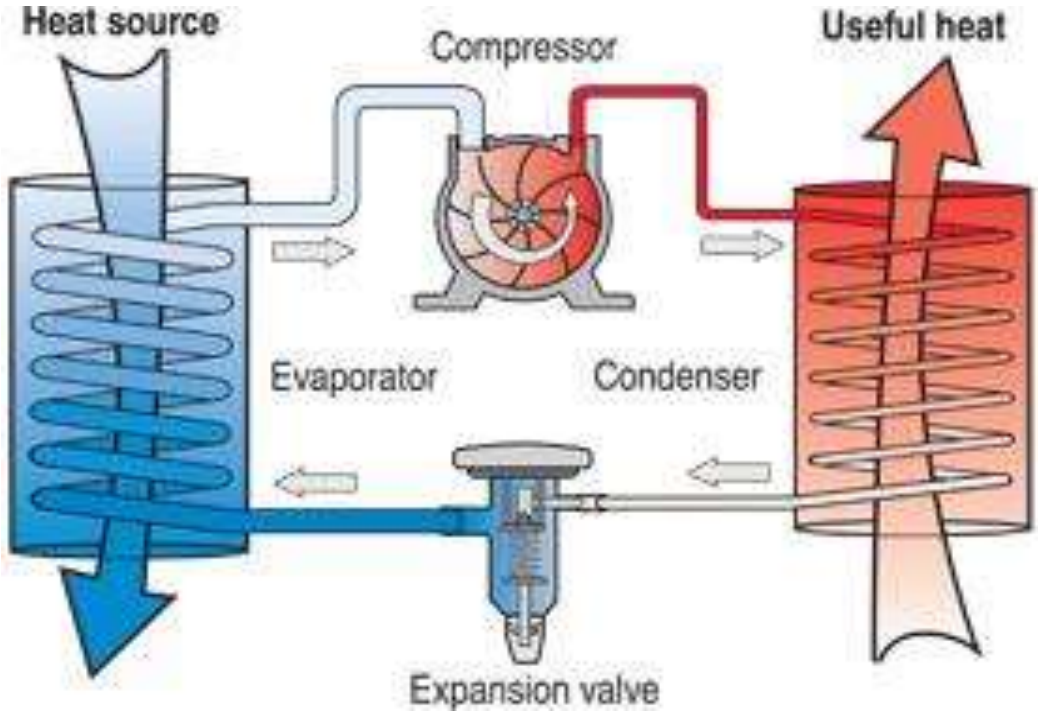

*Sugiartha, N., & Negara, P. (2018). Technical Feasibility Evaluation on The Use of A Peltier Thermoelectric Module to Recover Automobile Exhaust Heat. Journal of Physics: Conference Series, 953, 012090. https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012090*

# TECHNOLOGIES DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

## 1.2.3. TECHNOLOGIES ACTIVES (CHALEUR FATALE POUR LE CHAUD OU LE FROID)

**Pompe à chaleur**

- Rehausse la chaleur fatale à une température exploitable pour le chauffage.
- Repose le plus souvent sur un cycle à compression de vapeur.
- Améliore l'efficacité énergétique en réutilisant la chaleur fatale basse température.
- Largement utilisée dans l'industrie et le chauffage des bâtiments.



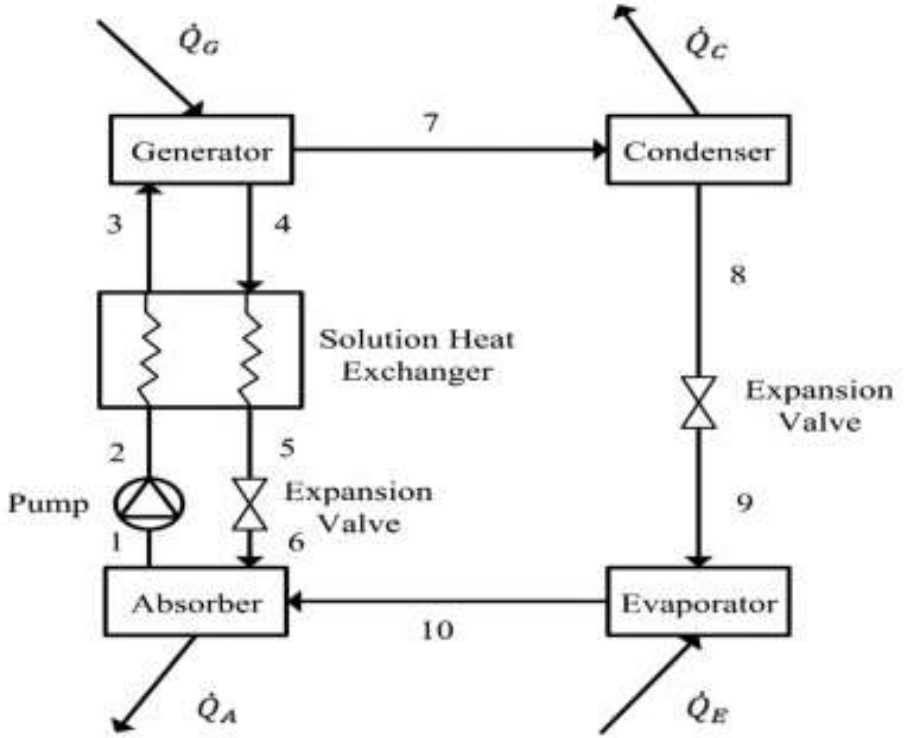

*IEA. (2022). The future of heat pumps. International Energy Agency. Retrieved February 21, 2025, from https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/executive-summary*

# TECHNOLOGIES DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

## TECHNOLOGIES ACTIVES (CHALEUR FATALE POUR LE CHAUD OU LE FROID)

### Absorption

- Systèmes entraînés thermiquement utilisant la chaleur plutôt que la compression mécanique.
- Peuvent rehausser la chaleur fatale à une température supérieure.
- Adaptés lorsqu'une source d'énergie thermique est facilement disponible.
- Courants dans la récupération industrielle de chaleur et la 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*

# TECHNOLOGIES DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE LA CHALEUR FATALE

## TECHNOLOGIES ACTIVES (POMPE À CHALEUR À COMPRESSION DE VAPEUR)

**Pompes à chaleur à compression de vapeur (VCHP)**

•Récupèrent et rehaussent la chaleur fatale basse température.

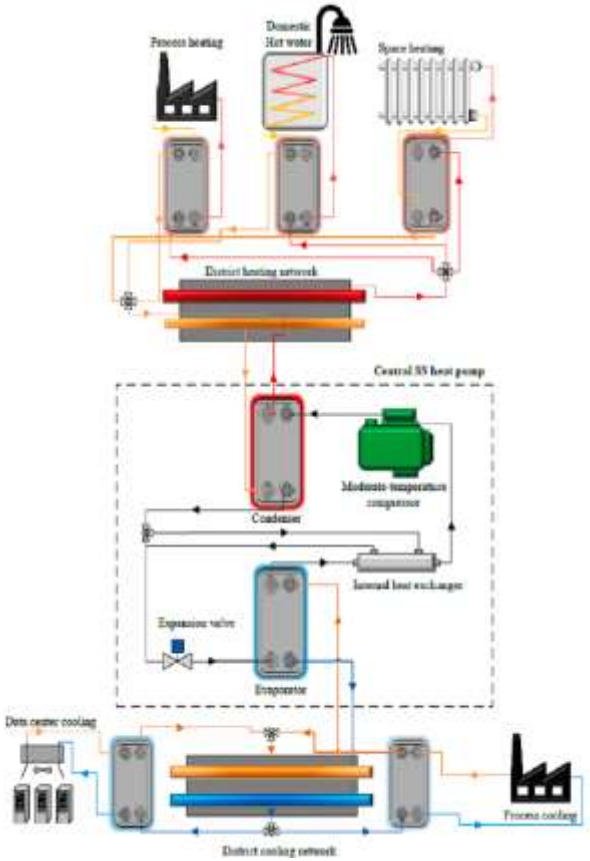
•Essentielles à la décarbonation par l'électrification de la chaleur.

•Nombreuses applications (p. ex. réseaux de chaleur).

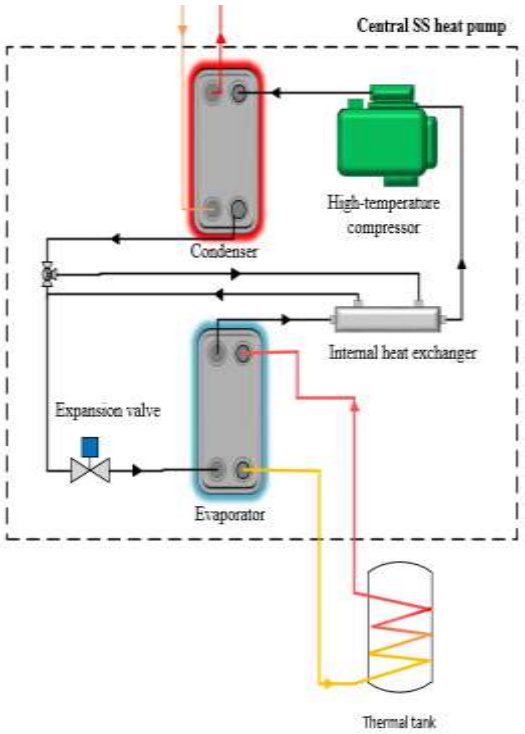
•**COP = puissance thermique du condenseur / puissance du compresseur (généralement 2 à 6).**

•L'utilisation de chaleur fatale améliore le COP en réduisant l'élévation de température.

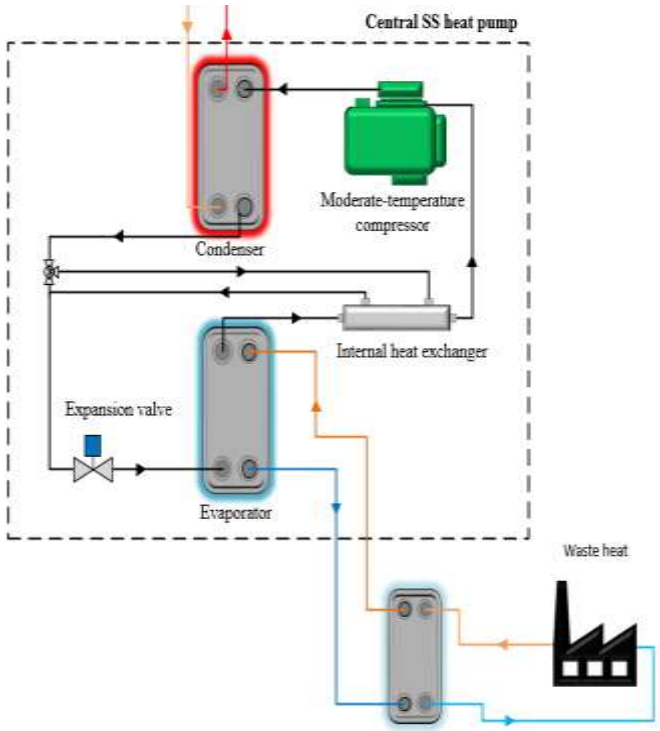
# CONFIGURATIONS ET RACCORDEMENTS DES POMPES À CHALEUR POUR DIVERSES SOURCES DE CHALEUR FATALE



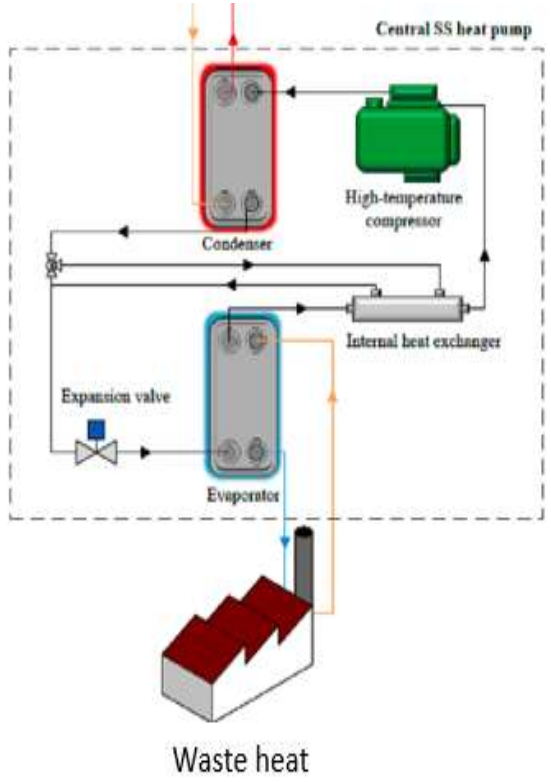

**Circuit fermé avec fluide caloporteur secondaire**




**Systèmes de stockage (réservoirs thermiques)**




**Échangeur intermédiaire (système indirect)**



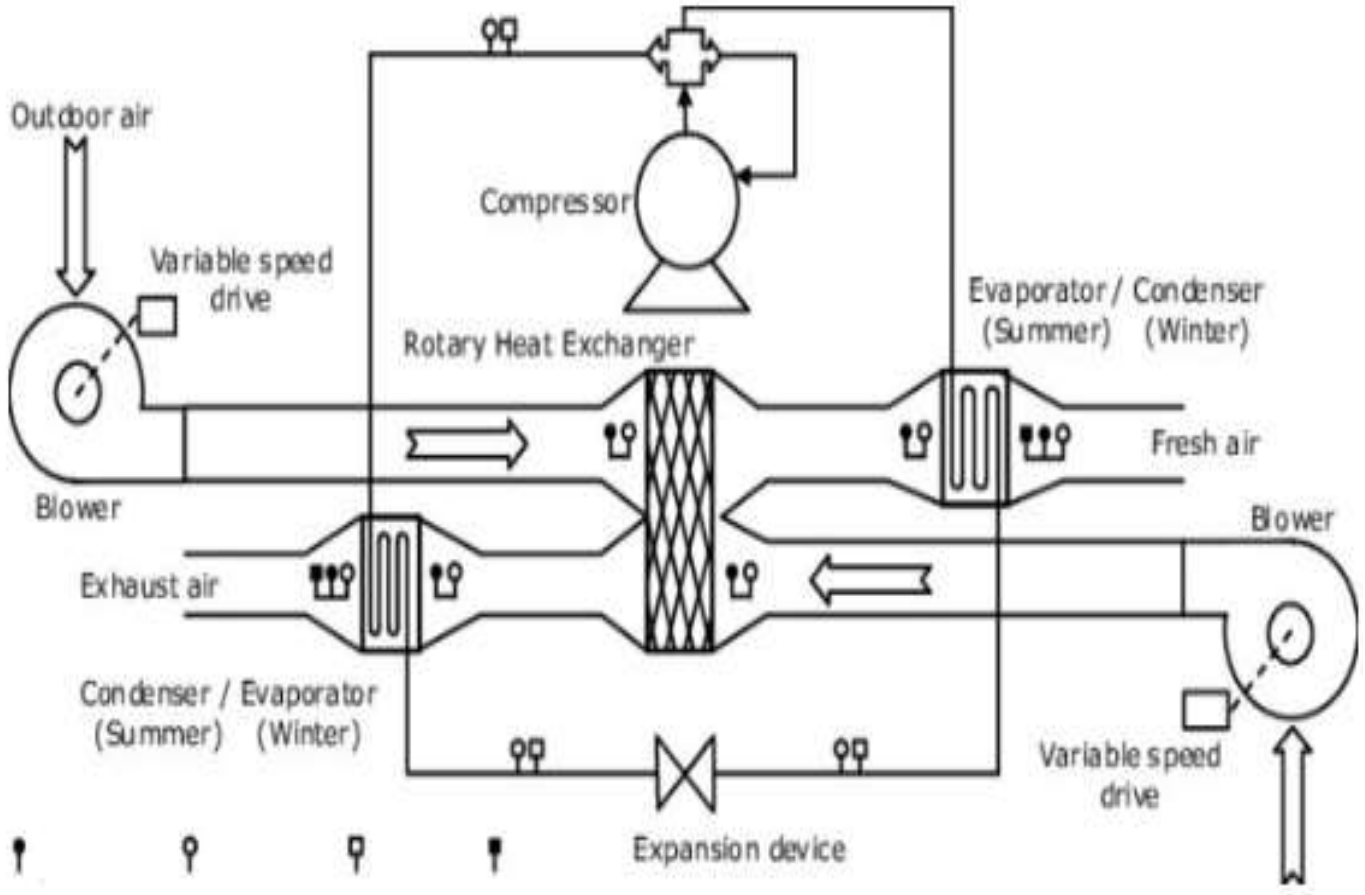

**Raccordement direct au circuit primaire**

*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*

# CONFIGURATIONS ET RACCORDEMENTS DES POMPES À CHALEUR POUR DIVERSES SOURCES DE CHALEUR FATALE

## Intégration aux flux d'air ou de gaz

- Intégration aux systèmes de ventilation pour récupérer la chaleur en CVC.
- Utilisation de l'air extrait des bâtiments ou procédés industriels comme source de chaleur.
- Récupération de chaleur des fumées de chaudières, fours et systèmes de combustion.
- Préchauffage de l'air neuf par pompe à chaleur pour réduire les besoins de chauffage.
- Courant en ventilation à récupération d'énergie (ERV) et centrales de traitement d'air industrielles.




*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*

Merci ! _x000B__x000B_Module 3 – Heat production_x000B_SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities_x000B__x000B_https://www.shakeproject-dhc.eu/_x000B__x000B_Établissements responsables : Universitat Jaume I de Castellón_x000B_Auteurs : Ghad Alarnaout-Alarnaout, Dr. Adrián Mota-Babiloni_x000B__x000B_



Co-funded by the European Union