Module 3 : Production de chaleur

Module 3.3 Cogénération

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

SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities



2.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE COGENERATION

Cogénération (CHP)

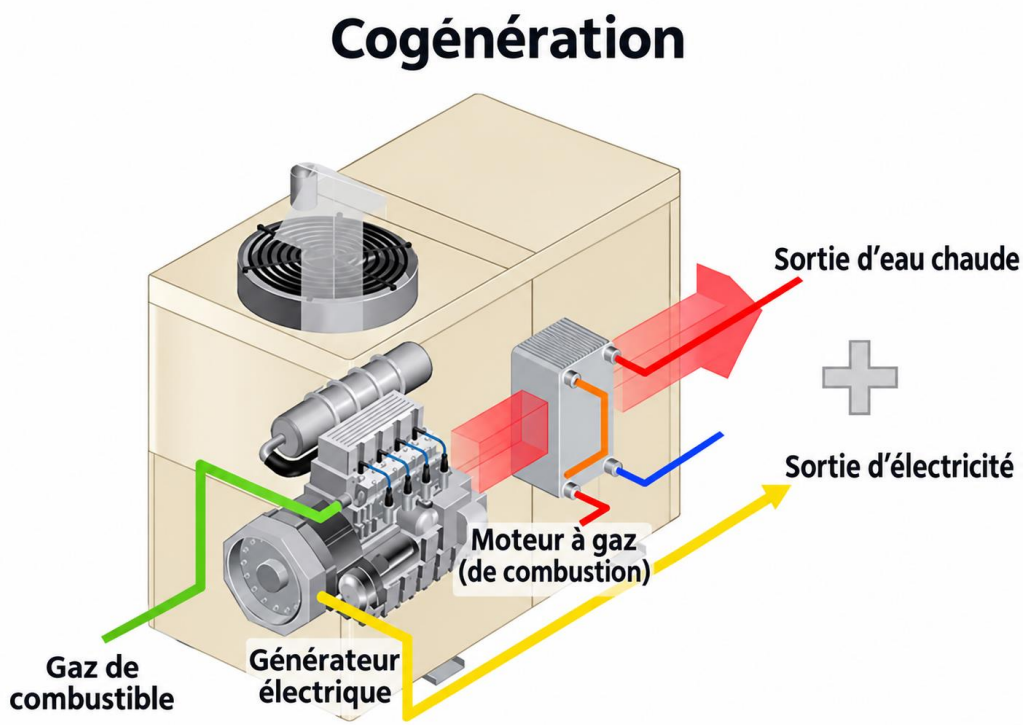
Production simultanée d'électricité et de chaleur utile à partir d'une seule source de combustible.

Amélioration de l'efficacité énergétique globale par rapport à la production séparée de chaleur et d'électricité.

Les technologies courantes incluent les turbines à gaz, les turbines à vapeur et les moteurs à combustion interne.

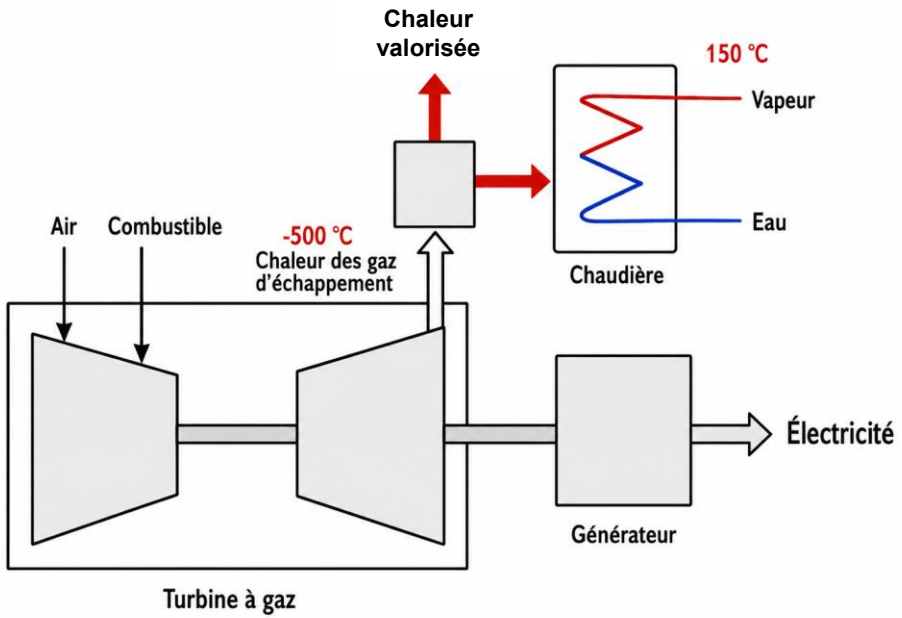
La chaleur peut être récupérée pour le chauffage urbain, les procédés industriels ou un usage domestique.

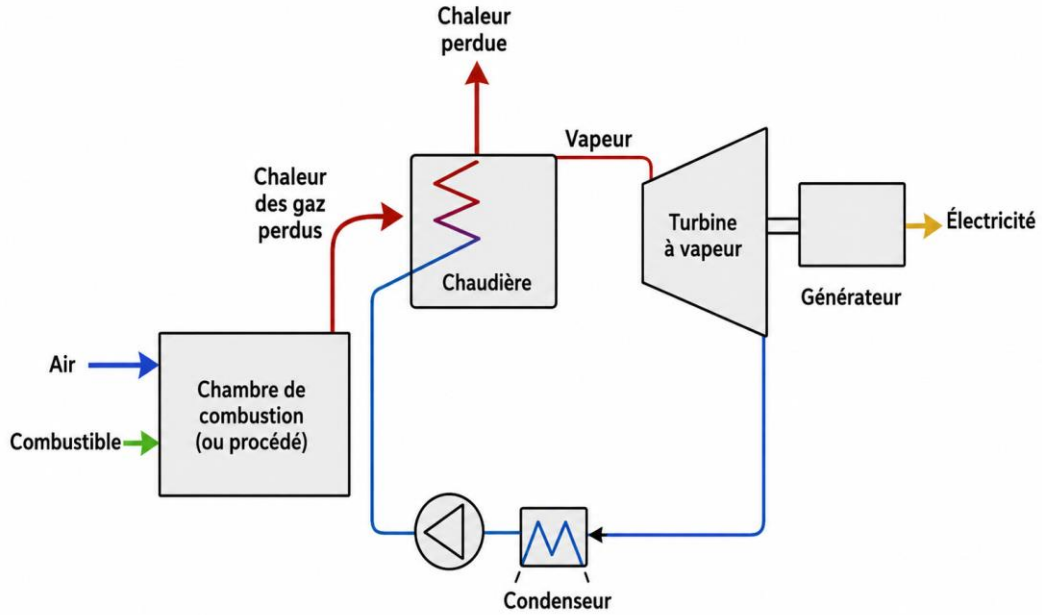
Largement utilisé dans les industries, les hôpitaux et les systèmes énergétiques de district.



Yanmar. (n.d.). Cogeneration systems. https://www.yanmar.com/global/energy/cogeneration_systems/

2.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE COGENERATION





Cycle de cogénération (cycle Turbine à Gaz)

- La turbine à gaz produit de l'électricité et la chaleur perdue dans les fumées est distribué entre un flux pour chauffer de l'eau et le reste vers la turbine à vapeur

Cycle de cogénération (cycle turbine à vapeur)

- La chaleur fatale ou la chaleur d'une chaudière ou tout ou partie de la chaleur issue d'une turbine à gaz (cycle combiné) est valorisée sous forme d'électricité dans un cycle de turbine à vapeur, puis la chaleur résiduelle est rejetée dans l'environnement

Jahanzaib, M., Pasha, R. A., & Suleman, M. (2010). Cogeneration an Opportunity for Industrial Energy Saving.

2.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE COGENERATION

Diverses technologies de CHP ont été développées, classées en deux grands groupes :

Unités flexibles :
Ces systèmes peuvent ajuster leur rapport puissance/chaleur en fonction de la demande de chaleur.
Ces unités peuvent fonctionner dans :

Mode de cogénération complète : Production maximale de chaleur.

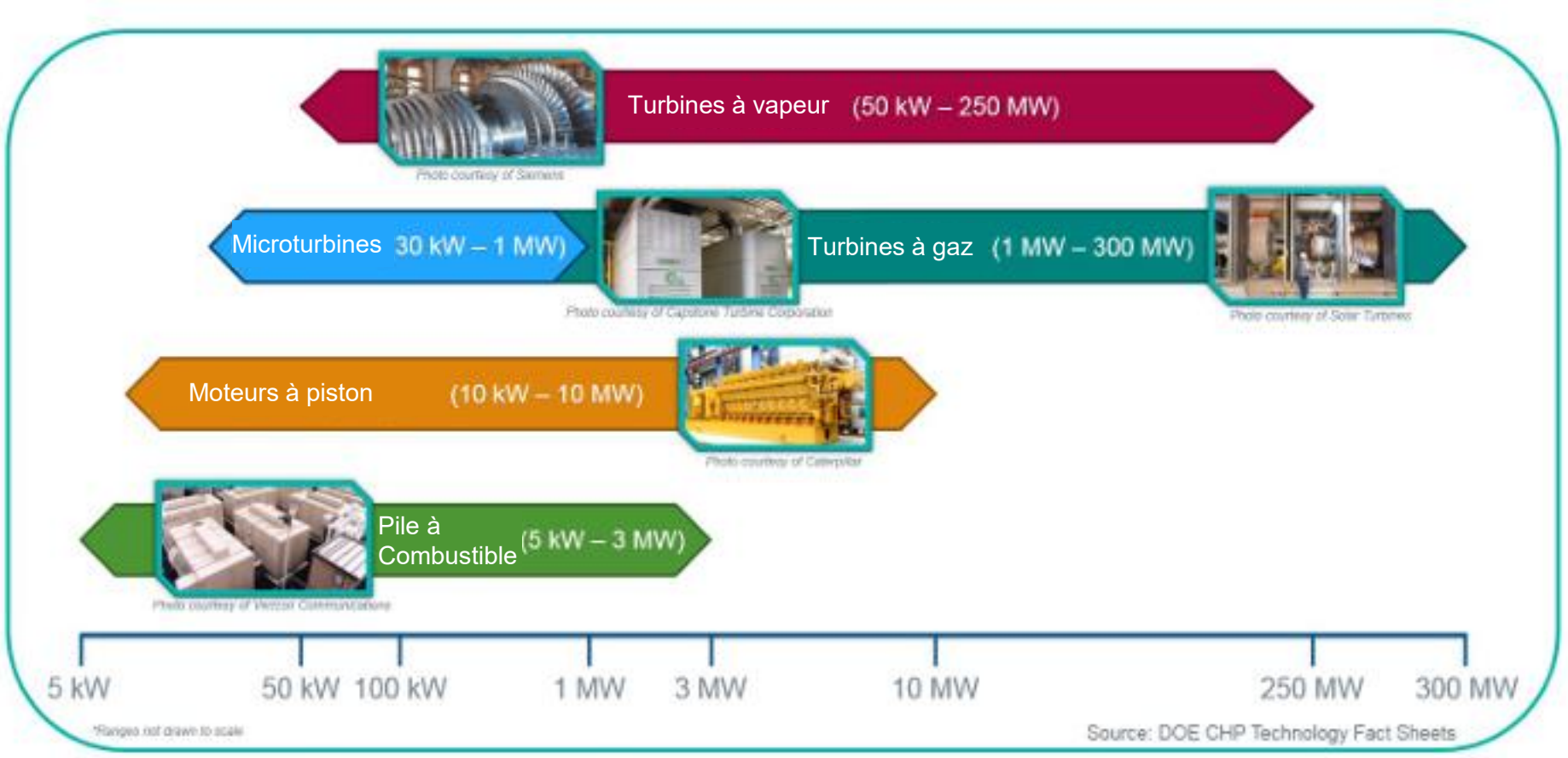
Mode de condensation complète : Production maximale d'électricité sans chauffage utile. Le fonctionnement dépend de la demande spécifique de chaleur.

Unités de production de chaleur fixe :
Ces systèmes produisent de la chaleur à un rythme constant, quelle que soit la demande. Si la chaleur n'est pas nécessaire, l'excédent est libéré dans l'environnement.

European Commission. (2017). Reporting instructions for CHP: Reference year 2016 onwards. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/42195/Final_CHP_reporting_instructions_reference_year_2016_onwards_30052017.pdf

2.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE COGENERATION

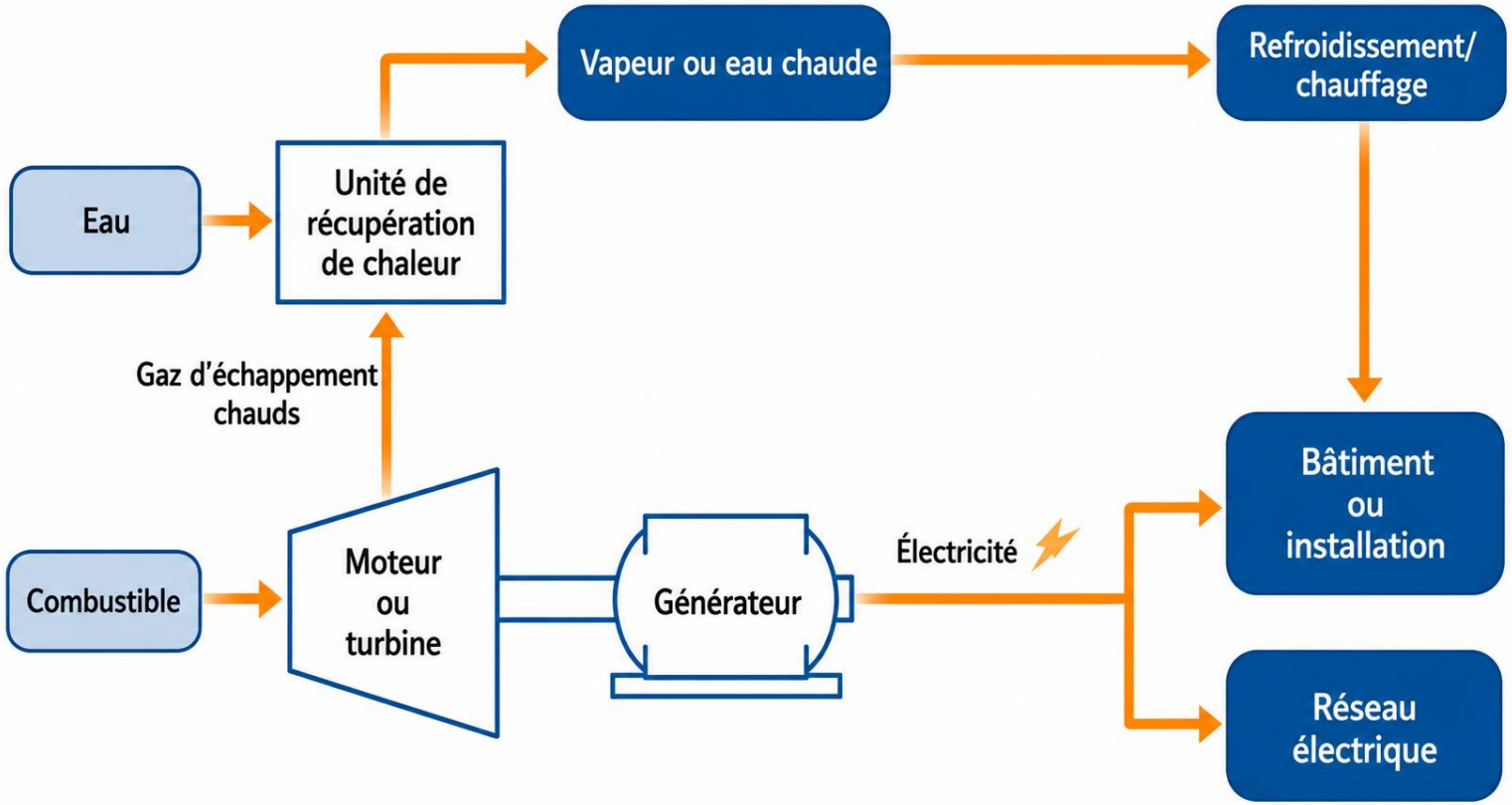
Différentes technologies de CHP en fonction des plages de puissance :



Epperson, & Jane. (n.d.). Combined Heat and Power Technology Today Welcome: Melisa Adrien-EETM-Ohio Moderator: Jane Epperson-US DOE CHP TAP 2. www.energy.gov/chp

2.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE COGENERATION

- Entrée de carburant : Le système est alimenté par une source de combustible, le plus souvent du gaz naturel, de la biomasse ou de l'hydrogène.
- Production d'énergie : Le combustible brûle dans un moteur ou une turbine pour faire tourner un générateur, produisant ainsi de l'électricité.
- Captation de chaleur : Au lieu de laisser s'échapper la chaleur du sous-produit (comme le font les centrales électriques traditionnelles), un échangeur de chaleur capte les gaz d'échappement et l'énergie thermique.
- Utilisation thermique : Cette chaleur captée est redirigée pour fournir de l'eau chaude, du chauffage des espaces ou de la vapeur industrielle.
- Haute efficacité : En produisant simultanément électricité et chaleur à partir d'une seule source de combustible, le système atteint jusqu'à 80-90 % d'efficacité (contre seulement 40-50 % lorsqu'il est produit séparément).



EnergyLink. (n.d.). How CHP works. Retrieved November 18, 2024, from https://goenergylink.com/blog/how-chp-works/

2.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE COGENERATION

Paramètres principaux

Puissance électrique :

$$\dot{P}_e = \dot{Q}_{combustible} \times \eta_{generation} \times \eta_{thermal}$$

Puissance thermique :

$$\dot{Q}_t = \dot{m} \times C_P \times (T_{out} - T_{in})$$

Efficacité globale (η_x) :

$$\eta_x = \frac{\dot{P}_e + \dot{Q}_t}{\dot{Q}_{combustible}} \times 100$$

Rapport chaleur/électricité (C/E) :

$$\frac{C}{E} = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{Q}_e}$$

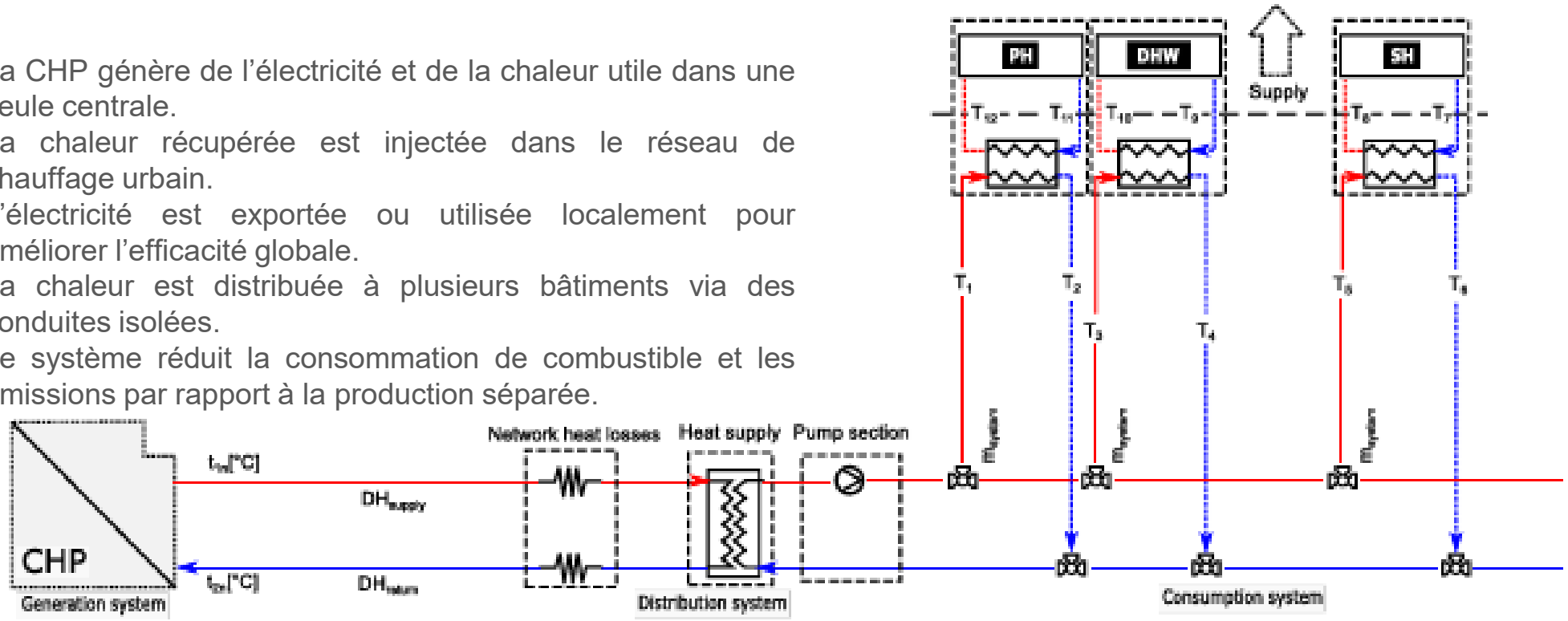
Facteur de charge :

$$FL = \frac{P_{moyenne}}{P_{max}}$$

2.2. LE RÔLE DE LA COGENERATION DANS LA PRODUCTION DE CHALEUR ET LEUR INTÉGRATION DANS LES RESEAUX DE CHALEUR

Connexion CHP et intégration dans les réseaux de chaleur

- La CHP génère de l'électricité et de la chaleur utile dans une seule centrale.
- La chaleur récupérée est injectée dans le réseau de chauffage urbain.
- L'électricité est exportée ou utilisée localement pour améliorer l'efficacité globale.
- La chaleur est distribuée à plusieurs bâtiments via des conduites isolées.
- Le système réduit la consommation de combustible et les émissions par rapport à la production séparée.



Barco-Burgos, J., Bruno, J. C., Eicker, U., Saldaña-Robles, A. L., & Alcántar-Camarena, V. (2022). Review on the integration of high-temperature heat pumps in district heating and cooling networks. Energy, 239. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122378

2.2. LE RÔLE DE LA COGENERATION DANS LA PRODUCTION DE CHALEUR ET LEUR INTÉGRATION DANS LES RESEAUX DE CHALEUR

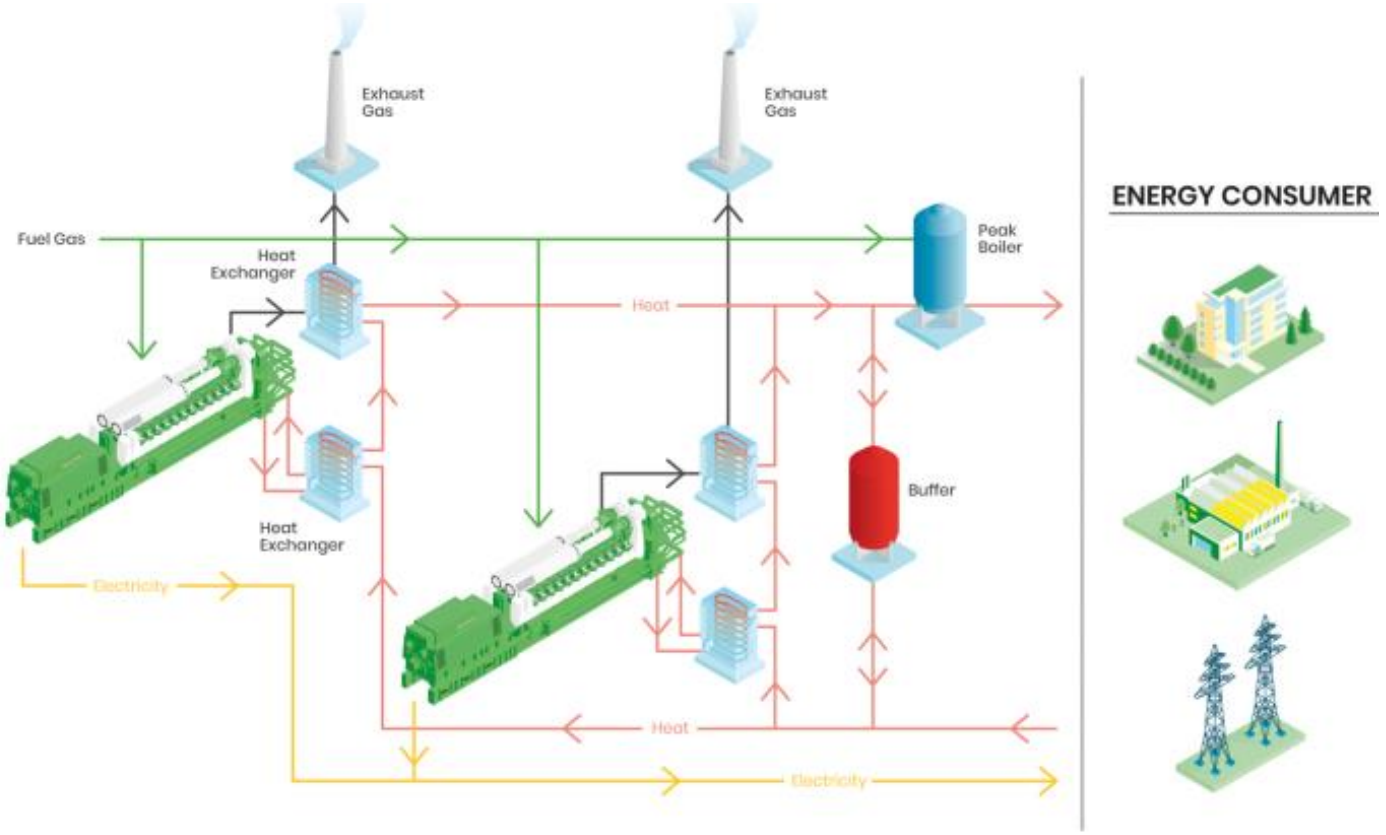
Intégration de la CHP dans les bâtiments commerciaux et institutionnels

Des CHP ont été installées sur place dans des bâtiments commerciaux/institutionnels pour la production locale.

Elles produisent simultanément de l'électricité et de la chaleur utile pour la demande des bâtiments.

La chaleur est utilisée pour le chauffage des pièces, l'eau chaude domestique ou le refroidissement par absorption.

Le système fonctionne mieux avec une demande thermique stable (hôpitaux, hôtels, universités).

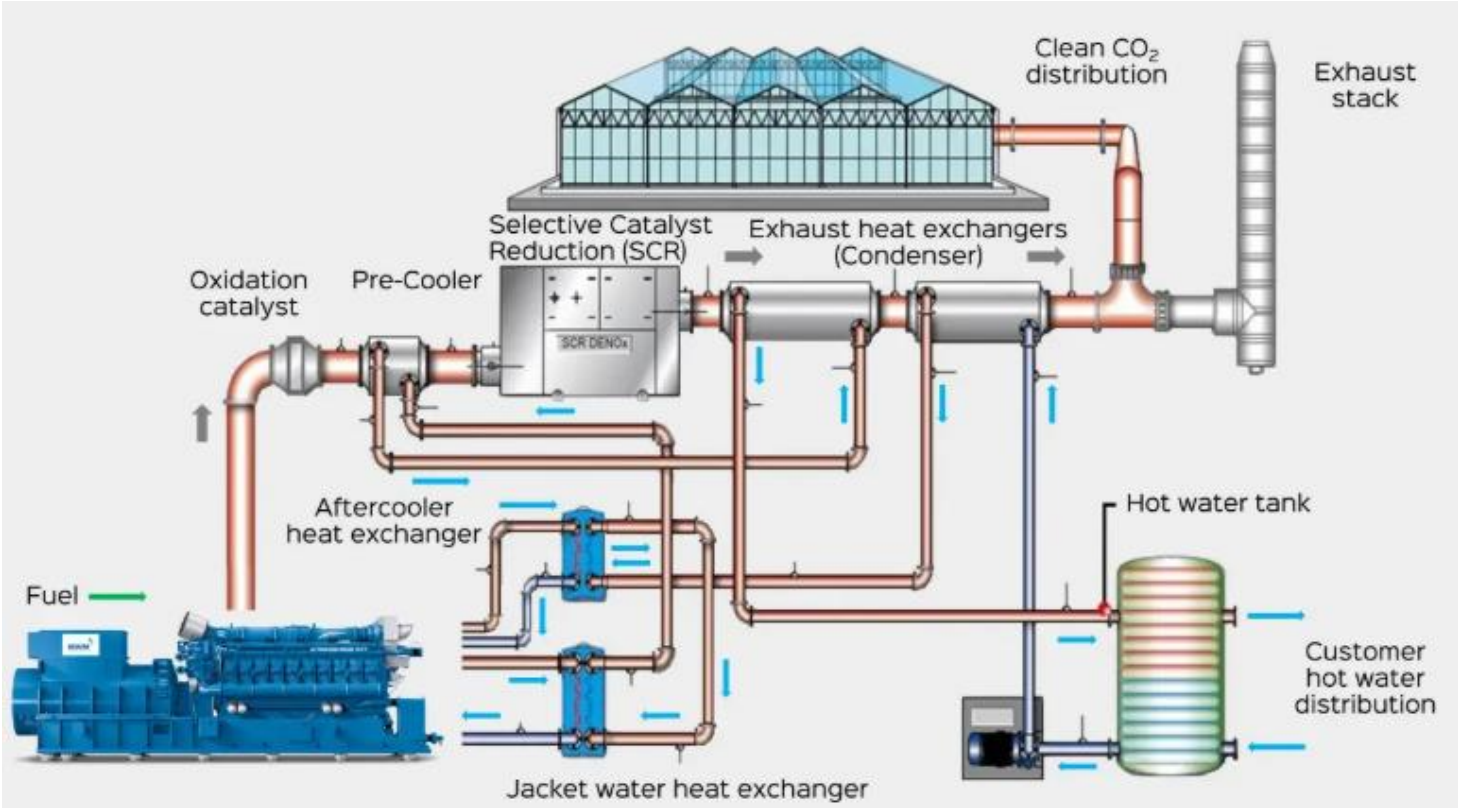


Jenbacher. (n.d.). Commercial & industrial buildings. https://www.jenbacher.com/en/energy-solutions/industries/commercial-industrial-buildings/

2.2. LE RÔLE DE LA COGENERATION DANS LA PRODUCTION DE CHALEUR ET LEUR INTÉGRATION DANS LES RESEAUX DE CHALEUR

Intégration de la CHP dans les serres

- La CHP a été installée sur place pour fournir électricité et chauffage à la serre.
- La chaleur résiduelle est utilisée pour maintenir une température de croissance optimale.
- Le CO_2 provenant des gaz d'échappement peut être capté et utilisé pour l'enrichissement des plantes.
- Le système améliore l'efficacité énergétique et réduit la consommation de combustible de chauffage.
- Il permet un contrôle climatique stable pour la production agricole toute l'année.

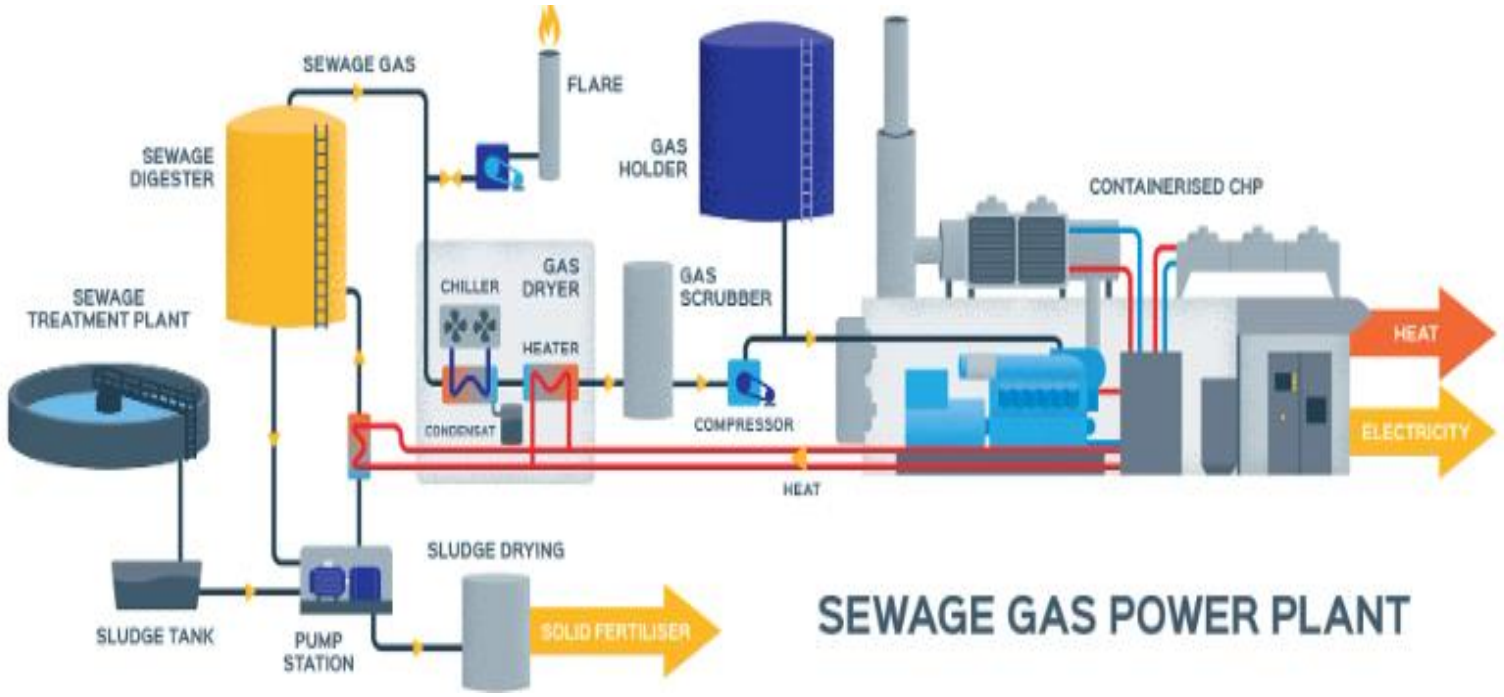


Edina. (n.d.). Glasshouse CHP. https://www.edina.eu/sectors/glasshouse-chp

2.2. LE RÔLE DE LA COGENERATION DANS LA PRODUCTION DE CHALEUR ET LEUR INTÉGRATION DANS LES RESEAUX DE CHALEUR

Intégration des CHP dans les stations d'épuration

- La CHP utilise le biogaz issu de la digestion anaérobie des boues.
- Elle produit de l'électricité pour l'exploitation de la centrale et la demande sur site.
- La chaleur récupérée est utilisée pour maintenir la température du digesteur.
- Le système réduit la consommation d'énergie externe et les coûts d'exploitation.
- Il améliore l'autosuffisance énergétique globale de l'usine de traitement.



Edina. (n.d.). Glasshouse CHP. https://www.edina.eu/sectors/glasshouse-chp

2.2. LE RÔLE DE LA COGÉNÉRATION DANS LA PRODUCTION DE CHALEUR ET LEUR INTÉGRATION DANS LES RESEAUX DE CHALEUR

Types de chaleur produits par les systèmes de cogénération :

Eau chaude : Pour le chauffage des locaux et l'eau chaude sanitaire.

Vapeur : Utilisée dans les procédés industriels ou le chauffage urbain.

Chaleur de faible qualité : Pour le préchauffage, le séchage ou le refroidissement par absorption.

Chaleur de procédé : Application directe de chaleur dans les systèmes industriels.

Énergie thermique pour refroidisseurs d'absorption : Pour la trigénération (chauffage, puissance et refroidissement).

2.3. AVANTAGES DE LA COGENERATION

Avantages généraux de la cogénération :

Efficacité énergétique

Réduction des émissions

Flexibilité

Sécurité énergétique

Réduction des coûts d’exploitation

2.4. DÉFIS OPÉRATIONNELS ET TECHNIQUES LIÉS À L'INTÉGRATION DE LA COGENERATION DANS LES RESEAUX DE CHALEUR

Flexibilité opérationnelle

Variabilité de la demande : les réseaux ont une demande de chaleur fluctuante ; la CHP préfère un fonctionnement stable à pleine charge → nécessite un contrôle avancé et des systèmes d'appoint.
Interaction avec le réseau : la CHP doit équilibrer la demande en chaleur et électricité → complexe, en particulier avec les énergies renouvelables.

Intégration des infrastructures

Défis de rénovation : Des améliorations des tuyaux, échangeurs et stockages sont souvent nécessaires.
Adaptation température/pression : ajout d'équipement supplémentaire → un coût et une complexité plus élevés.

Fiabilité du système

Double dépendance : la défaillance de la cogénération affecte à la fois la chaleur et l'électricité → nécessite un entretien élevé.
Sauvegardes nécessaires : Le stockage ou les systèmes auxiliaires augmentent les coûts mais garantissent la continuité.

Combustibles et émissions

Approvisionnement en combustible : Accès stable au combustible critique (gaz naturel, biomasse).
Contrôle des émissions : doit respecter les limites de CO_2, NOx, PM → nécessite des purificateurs, des filtres ou une combustion propre.
Intégration des énergies renouvelables (biogaz ou la chaleur résiduelle) : nécessite un combustible de qualité et la planification des émissions.

2.5. EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, ÉCONOMIE ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA COGENERATION

Type de cogénération	rendement électrique (%)	rendement thermique (%)	rendement total (%)
Moteur à gaz	35–42 %	45–50 %	80–90 %
Turbine à gaz (GT)	25–35 %	40–50 %	70–85 %
Cycle combiné (GT + ST)	45–55 %	30–40 %	80–90 %
Micro-CHP (résidentiel)	12–20 %	60–70 %	80–85 %
Centrale de biomasse	20–30 %	40–50 %	60–80 %
Centrale à vapeur (ST) (industrielle)	10–15 %	60–75 %	70–85 %

2.5. EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, ÉCONOMIE ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA COGENERATION

Économie

Exemple de cas :
La turbine à gaz fonctionne 7 800 heures par an

Économies annuelles totales	**1,650,000$**
Coût d'investissement estimé	**9,075,000$**
Temps de retour	**5,5 ans**

$$temps\ de\ retour = \frac{cout\ d'investissement\ initial}{économies\ annuelles}$$

Epperson, & Jane. (n.d.). Combined Heat and Power Technology Today Welcome: Melisa Adrien-EETM-Ohio Moderator: Jane Epperson-US DOE CHP TAP 2. www.energy.gov/chp

2.5. EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, ÉCONOMIE ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA COGENERATION

Impact environnemental

$$Emissions\ CO_2 =$$

$$débit\ de\ combustible\ \left(\frac{kg}{heure}\right) \times Temps\ de\ fonctionnement(heures/an) \times Pouvoir\ calorifique\ du\ combustible\ (\frac{kWh}{kg}) \times facteur\ d'émission\ (\frac{CO_2}{kWh})$$



ICF. (n.d.). CHP: Reducing emissions while saving energy. Retrieved November 18, 2024, from https://www.icf.com/insights/energy/chp-reducing-emissions

Merci!

Module 3.3 – Cogénération
SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities

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

Développé par Universitat Jaume I de Castellón

Dr. Adrián Mota-Babiloni | mota@uji.es
Ghad Alarnaot-Alarnaout | alarnaot@uji.es

Co-funded by
the European Union

