



Le futur des cogénérations

dans le contexte de la transition énergétique

08/10/2025

Monceau-sur-Sambre, Belgique

Sébastien Schellen

Exergia – Unlock your industry transition

- ✓ Nous aidons l'industrie à **transformer la décarbonation en projets concrets.**

Des études qui débouchent sur des décisions, pas sur des rapports qui dorment.

- ✓ Une équipe **d'ingénieurs issus de l'industrie,** pas de théoriciens de l'audit.

Nous venons du terrain : ingénierie de procédés, gestion de projets, dimensionnement et modélisation technico-économique.

- ✓ Nous commençons par le **cœur des procédés,** pas par les “économies périphériques”.

Là où la plupart optimisent les utilités (HVAC, air comprimé, éclairage), nous repensons les besoins thermiques à la source.



Exergia – Unlock your industry transition

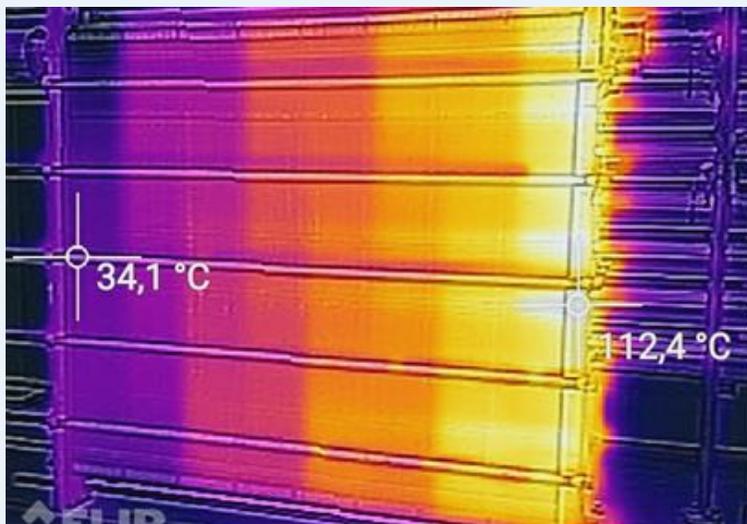


✓ Notre métier : **identifier, quantifier et hiérarchiser** les leviers de décarbonation.

Pompes à chaleur haute température, valorisation de chaleur fatale, électrification des procédés, optimisation de réseaux vapeur et eau glacée.

✓ Des résultats **concrets, mesurables et défendables**.

Chaque mission débouche sur des business cases comparatifs : scénarios techniques, CapEx/OpEx, rentabilité, émissions évitées.



Le futur des cogénérations

une transformation plus qu'une disparition

1 Comprendre les bases

Qu'est-ce qu'une cogénération, et pourquoi elle a été utile ?

2 Explorer la diversité industrielle

Les principales technologies et leurs équilibres thermiques/électriques.

3 Lire les signaux de la transition

Décarbonation, électrification, flexibilité : les équations changent.

4 Constater les limites ⚠️ TABOU 😊

Pourquoi la cogénération n'a pas toujours poussé à la sobriété.

5 Imaginer les futurs possibles

Hybridation, flexibilité, biogaz, tout-électrique : quelles trajectoires crédibles ?



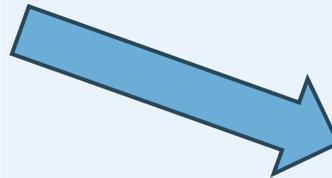
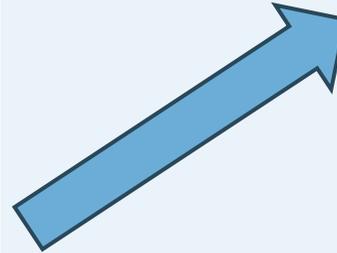
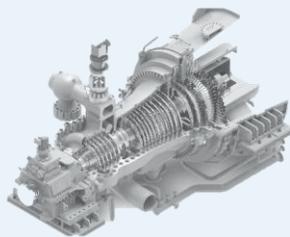
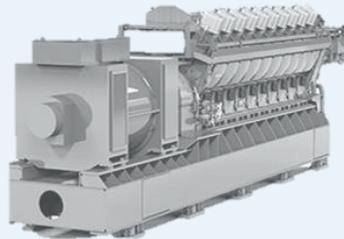
Qu'est-ce qu'une cogénération ?

Produire deux énergies à partir d'une seule : l'art de ne quasi rien perdre

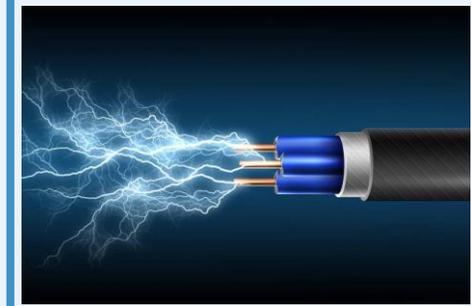
Combustible



Cogénération



Electricité



Chaleur



Pertes résiduelles



Qu'est-ce qu'une cogénération ?

Produire deux énergies à partir d'une seule : l'art de ne quasi rien perdre

1 Principe simple

Une cogénération produit simultanément de l'électricité et de la chaleur utile à partir d'un même combustible (gaz, biogaz, biomasse...).

2 Rendement global élevé

Au lieu de perdre la chaleur des fumées comme dans une centrale électrique classique, on la valorise pour chauffer un process industriel.

3 Le gain est énergétique, mais si le combustible reste fossile, les émissions de CO₂ demeurent.

Le gain est énergétique, mais si le combustible reste fossile, les émissions de CO₂ demeurent.



Pourquoi la cogénération a été utile ?

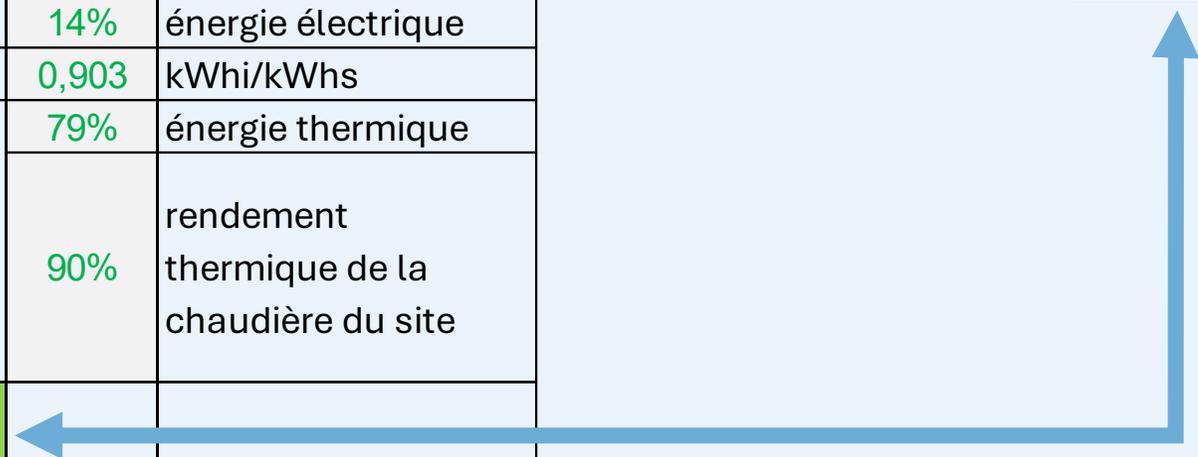
La cogénération est née dans un monde où l'énergie était bon marché et le CO₂ encore invisible.

1 Le bon sens énergétique

Produire localement de l'électricité et de la chaleur à partir d'un même combustible, c'était la garantie d'un rendement global supérieur à 80 %, quand une centrale électrique classique n'en faisait que 40 %.

Cogénération - Chaudière Gaz 40 bars + turbine vapeur			
Electricité délivrée	1000 kWh		
Electricité produite par la cogénération	1015 kWh	98,50%	rendement utile
Gaz consommé	7143 kWh	14%	énergie électrique
	7910 kWh	0,903	kWhi/kWhs
Gaz utilisé pour fournir l'énergie thermique équivalente par la chaudière du site	6943 kWh	79%	énergie thermique
		90%	rendement thermique de la chaudière du site
Gaz utilisé pour l'électricité	967 kWh		

Centrale TGV Belge début années 2000		
Electricité délivrée	1000 kWh	
Gaz consommé	2500 kWh	40%



Pourquoi la cogénération a été utile ?

La cogénération est née dans un monde où l'énergie était bon marché et le CO₂ encore invisible.

2 Un avantage économique immédiat

- Dans les années 2000–2010, les combustibles étaient bon marché et l'électricité chère et carbonée : la cogénération permettait de réduire les factures et d'obtenir des certificats verts.
- Les politiques régionales (certificats verts, soutien à la cogénération) ont renforcé ce mouvement.



Pourquoi la cogénération a été utile ?

La cogénération est née dans un monde où l'énergie était bon marché et le CO₂ encore invisible.

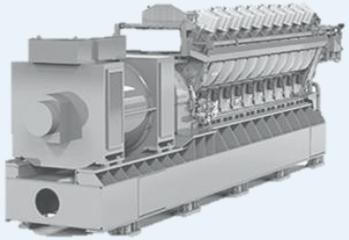
3 L'autonomie industrielle

- La cogénération offrait une **sécurité d'approvisionnement** et une valorisation locale de chaleur, limitant les pertes et renforçant la résilience des sites.
- Les usines cherchaient à **s'affranchir du réseau** — pour maîtriser leur coût de l'électricité, sécuriser leur production et éviter les coupures.
- Cette logique d'autonomie a façonné le dimensionnement :
 - on partait des **besoins électriques**, pas thermiques.



Toutes les cogénérations ne se valent pas

Selon la technologie et le procédé,
le ratio chaleur/électricité varie du simple au triple.



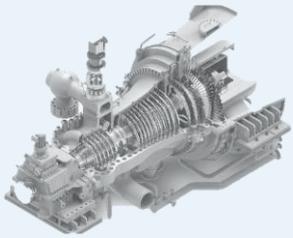
1 Moteurs

Fonctionnent au gaz, biogaz ou gasoil.
Flexibles, adaptés à la base ou à la pointe.
Pour des capacité faibles à moyennes



2 Turbine à gaz

Utilise un flux de gaz en combustion, avec ou sans post-combustion.



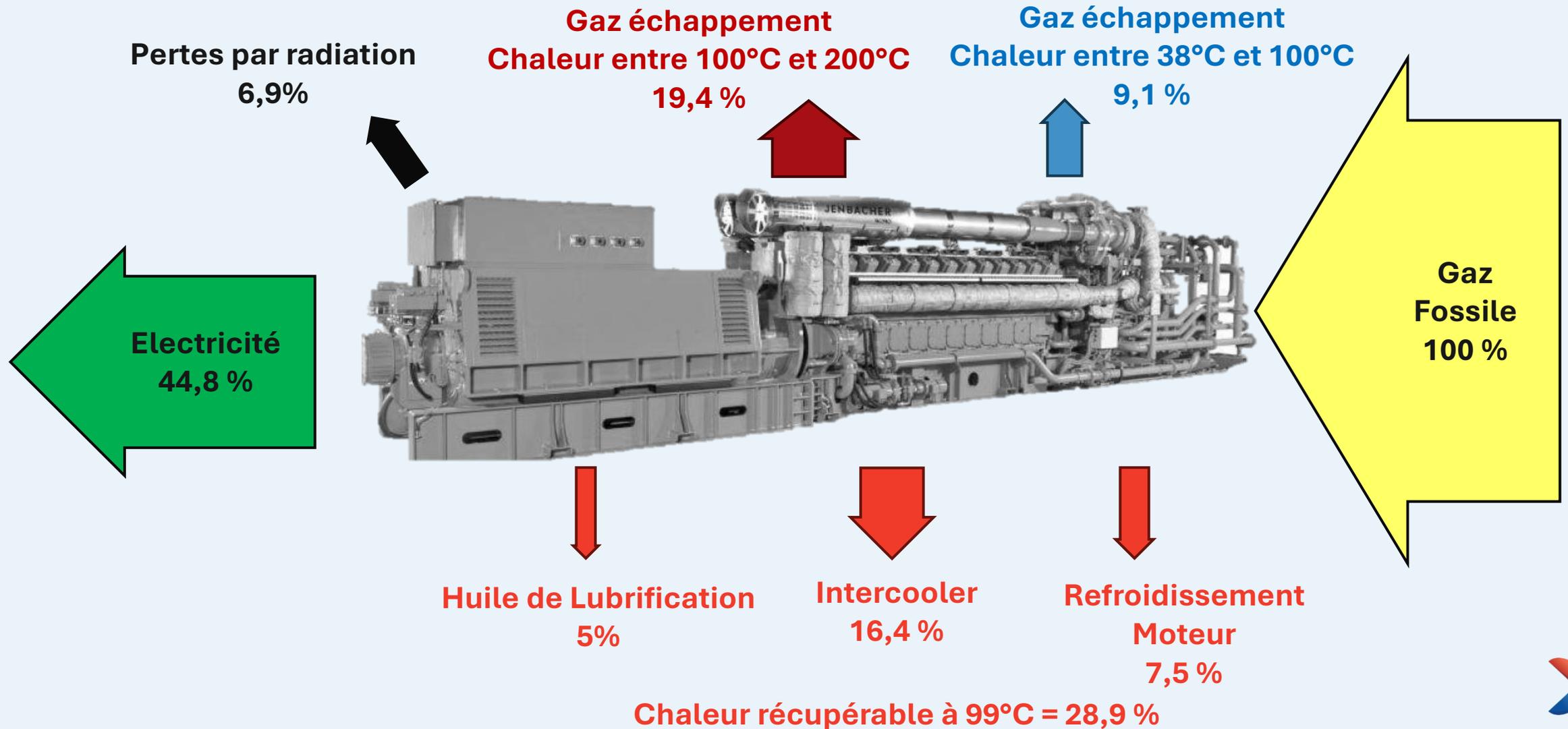
3 Cycle vapeur

Produit de la vapeur moyenne ou haute pression, à partir de gaz, biomasse ou charbon



Comment fonctionne une cogénération à moteur gaz ?

Un équilibre entre puissance électrique, chaleur utile et pertes.



Le moteur à gaz : efficace, mais pas neutre

Modulaire et flexible... mais avec des émissions de méthane.

✓ Avantages

Rendement global élevé

jusqu'à **90–95 %** d'énergie utile (44–46 % électrique + 40–50 % thermique).

Flexibilité opérationnelle

bon maintien du rendement entre 50 % et 100 % de charge, réponse rapide (quelques minutes).

Capacité d'autonomie

fonctionnement possible en îlot, utile en industrie ou sites isolés.

Multi-combustible

gaz naturel, biogaz, syngaz, H₂ en développement.

Intégration facile

modules compacts, maintenance maîtrisée, bonne maturité industrielle.



Le moteur à gaz : efficace, mais pas neutre

Modulaire et flexible... mais avec des émissions de méthane.

⚠ Limites et enjeux

Fuites de méthane

4 à 8 g CH₄/kWel produits → jusqu'à **39 % des émissions CO₂ eq** sur 20 ans.

Rendement électrique variable

les petits moteurs (biogaz ≤ 1 MW) tombent souvent sous **35–38 %**.

Émissions non-CO₂

NO_x, COV, particules, CO, N₂O.

Technologie de transition

dépend encore du gaz fossile, non compatible long terme avec la neutralité carbone.

Maintenance lourde

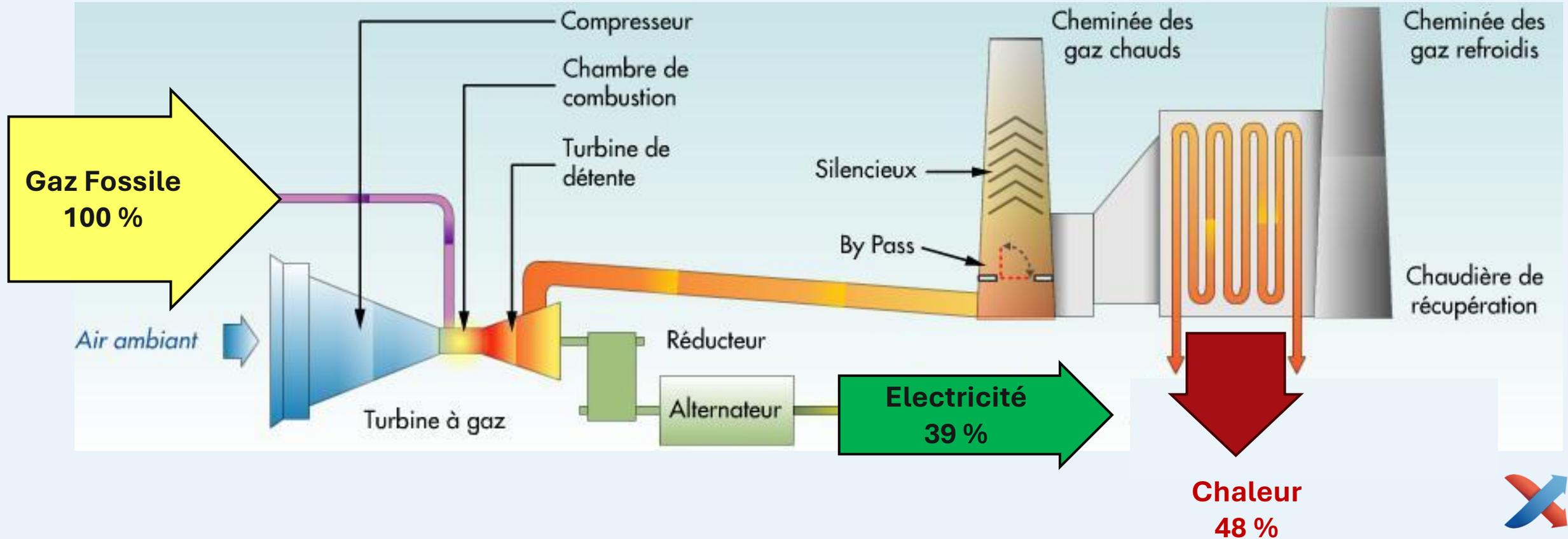
arrêts planifiés réguliers, usure mécanique, bruit/vibrations.



Turbine à gaz : performante mais rigide pour la transition

1 Principe énergétique

Combustion d'un flux d'air comprimé avec du gaz → entraînement d'une turbine → production d'électricité.
Les gaz d'échappement à haute température (450–550 °C) servent à produire de la vapeur dans une chaudière de récupération (HRSG).



Turbine à gaz : performante mais rigide pour la transition

✓ Avantages

Haute puissance unitaire

→ Plusieurs dizaines de MWé possibles, adaptées aux grands sites (chimie, papeterie, cimenterie).

Chaleur de haute qualité

→ Vapeur produite à 10–40 bar, utile pour procédés industriels intensifs.

Rendement global compétitif

→ Meilleur que la production séparée élec + vapeur.

Technologie mature et robuste

→ Maintenance espacée, durée de vie longue (> 100 000 h).



Turbine à gaz : performante mais rigide pour la transition

Limites et points faibles

Faible flexibilité

→ Mauvaise réponse aux variations rapides de charge, inertie élevée. → Moins adaptée aux procédés intermittents ou à la valorisation flexible de l'électricité.

Émissions et dépendance fossile

→ CO₂, NO_x, CH₄ non brûlé (faible mais existant), surtout pour les turbines biogaz moins performantes.

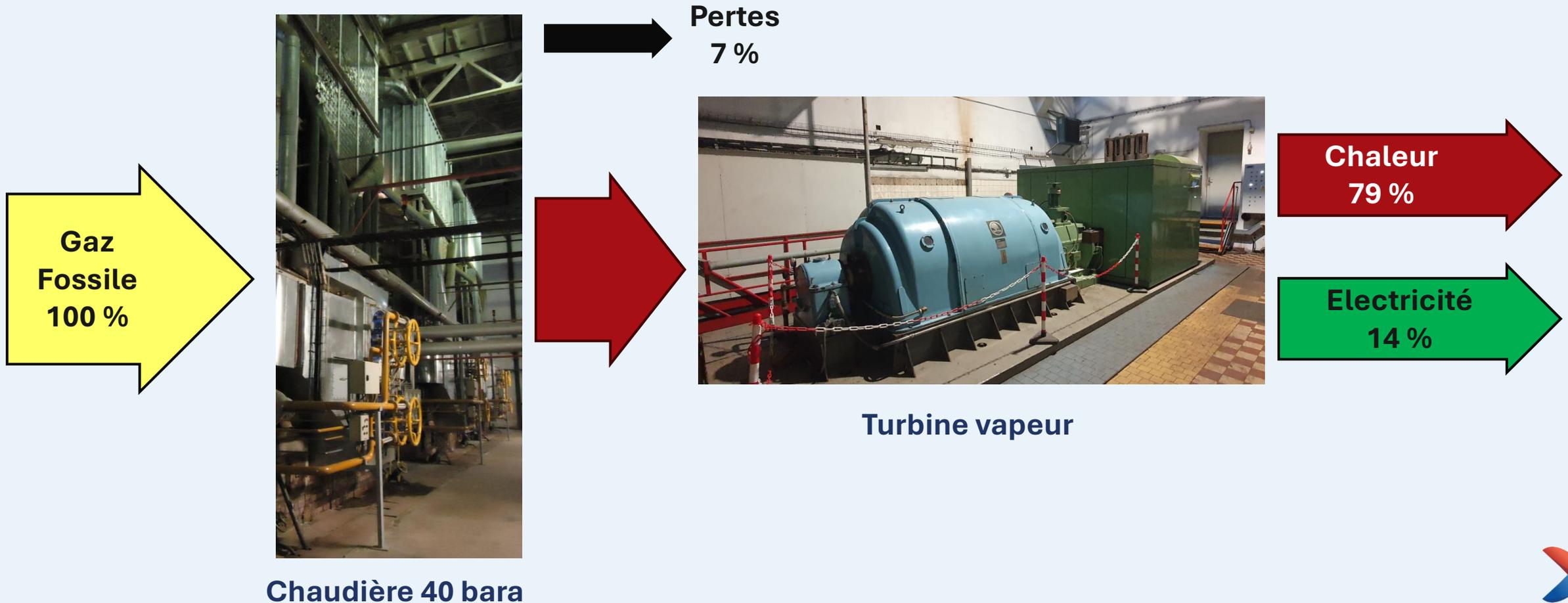


Cycle vapeur : la cogénération historique de l'industrie

1 Principe énergétique

Une chaudière produit de la vapeur haute pression (20–65 bar).

Cette vapeur passe dans une turbine de détente pour produire un peu d'électricité, avant d'être utilisée pour les besoins thermiques du procédé (chauffage, évaporation...).



Cycle vapeur : la cogénération historique de l'industrie

✓ Avantages

Haute valorisation thermique

→ Idéale pour les procédés à forte demande de vapeur (sucrierie, amidonnerie, distillerie, papeterie).

Technologie éprouvée et robuste

→ Machines simples, longue durée de vie (> 30 ans), maintenance maîtrisée.

Compatibilité avec la biomasse

→ Peut fonctionner avec bois, bagasse, pulpe, ou mix gaz/biomasse.

Rendement global élevé

→ Si toute la vapeur est valorisée, le rendement énergétique dépasse 90 %.



Cycle vapeur : la cogénération historique de l'industrie

Limites et points faibles

Rendement électrique très faible

→ Moins de 15 % d'électricité : la plupart de l'énergie part en chaleur.

Rigidité extrême

→ Fonctionnement en continu, difficile à moduler ; peu compatible avec un mix électrique flexible.

Surdimensionnement de la vapeur

→ Beaucoup d'usines produisent plus de vapeur qu'il n'en faut → gaspillage d'énergie primaire.

Dépendance à la chaleur

→ Si la demande vapeur baisse (efficacité ou électrification), la rentabilité du système s'effondre.



La biomasse,

Une énergie renouvelable

- ▶ Valorisation de déchets et co-produits (ex : bagasse, boues, marc, bois)
- ▶ Source de chaleur à haute température, remplaçant les énergies fossiles
- ▶ Stockable, pilotable, compatible avec les procédés industriels existants





La biomasse,

! MAIS...

! Une ressource limitée

- ▶ Pas suffisante pour remplacer tous les combustibles fossiles
- ▶ En concurrence avec d'autres usages (alimentaire, construction, chauffage résidentiel...)

! Un risque de non-durabilité

- ▶ Transport sur longue distance = émissions cachées
- ▶ Surexploitation = pression sur les sols et les forêts

! Des émissions à surveiller

- ▶ La biomasse émet aussi du CO₂ et des particules si elle est mal utilisée
- ▶ Le "zéro carbone" n'est valable que si le cycle du carbone est fermé



La cogénération **biomasse**, une usine dans l'usine

Investissement initial élevé

Coût d'investissement \approx **2 à 3× supérieur** à celui d'une chaudière gaz (par MW thermique).

Nécessite :

- un bâtiment dédié (filière combustible, convoyage, stockage, filtration),
- un système de dépoussiérage (cyclones, électrofiltres),
- et souvent un silo de plusieurs centaines de m³.

→ *CAPEX + contraintes d'exploitation importantes.*

Emissions atmosphériques

Même bien réglée, une chaudière biomasse émet :

Poussières / particules fines (PM),

NO_x,

COV et CO,

parfois **HCl, SO₂** selon le combustible.

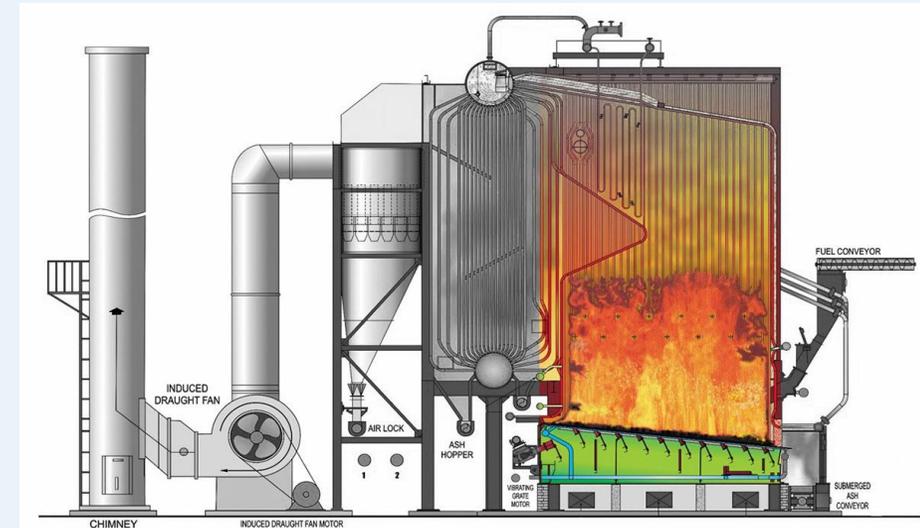
→ Nécessite des filtres performants (multicyclones, manches, électrofiltres).

→ *Non neutre en termes de qualité de l'air, notamment pour les petits sites.*

Faible flexibilité et inertie thermique

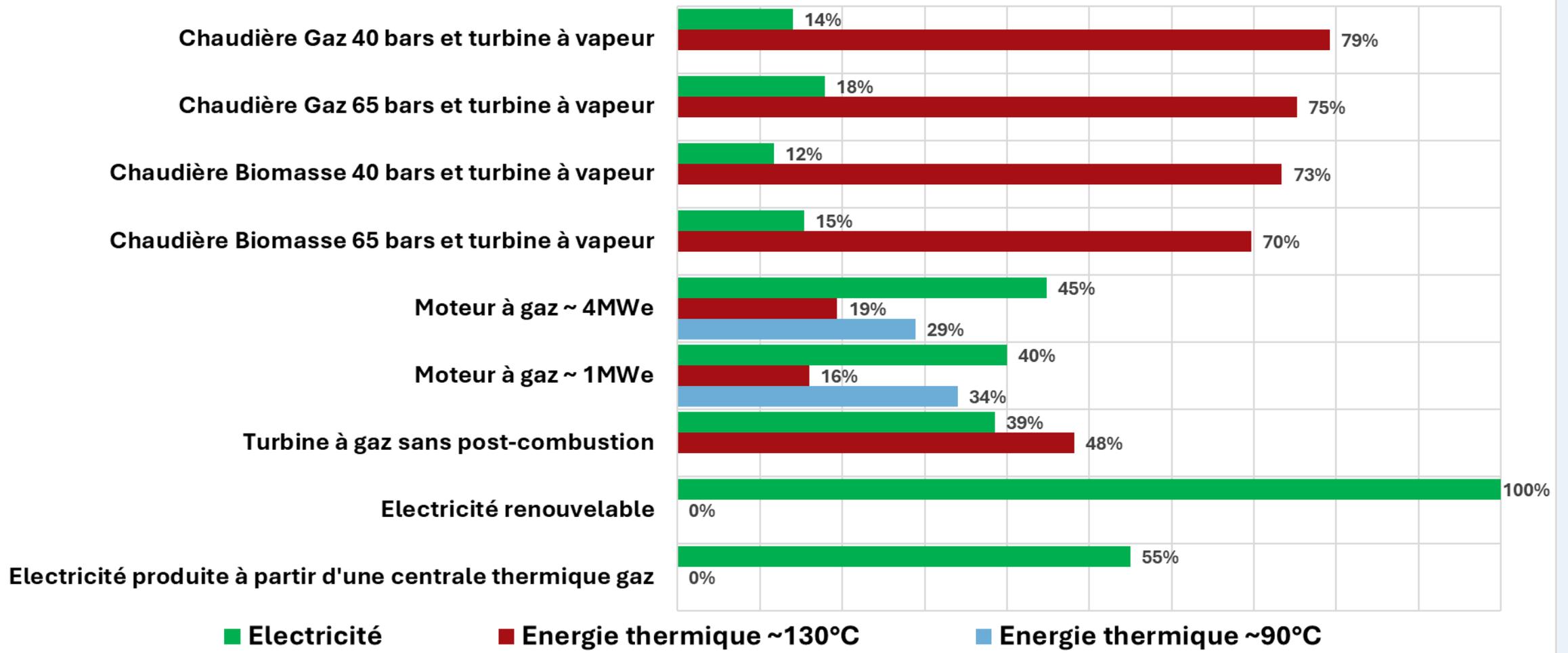
Démarrage lent, modulation difficile sous 50 % de charge,

→ *peu compatible avec les besoins variables ou les systèmes pilotés à la demande (flexibilité réseau)*



Trois technologies, trois logiques énergétiques

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%





Le monde énergétique change plus vite que les machines

Trois révolutions simultanées bouleversent le modèle des cogénérations.

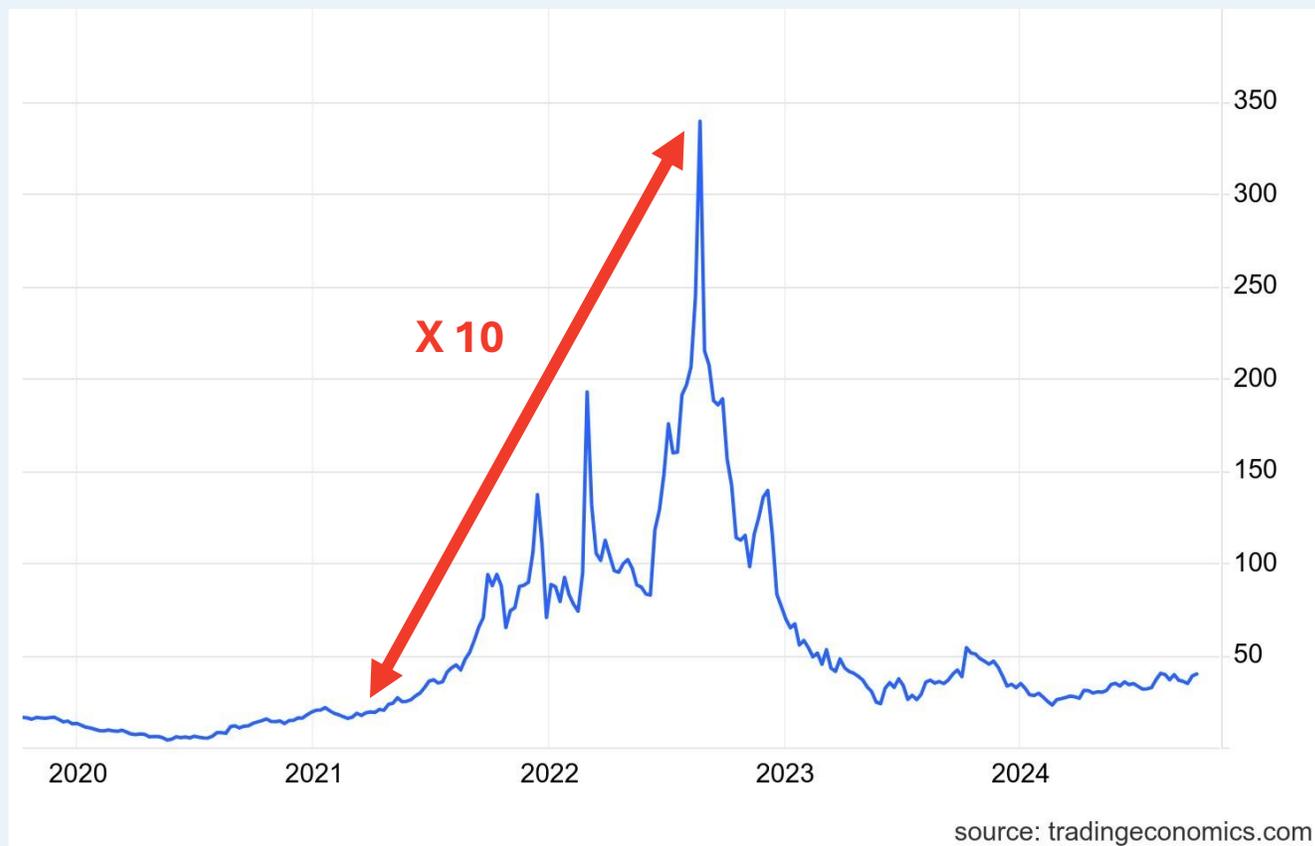
1 Révolution des prix et de la souveraineté

2 Révolution de l'équilibre énergétique

3 Révolution du carbone



Les énergies fossiles sont importées et épuisables



Natural Gas EU Dutch TTF (€/MWh)

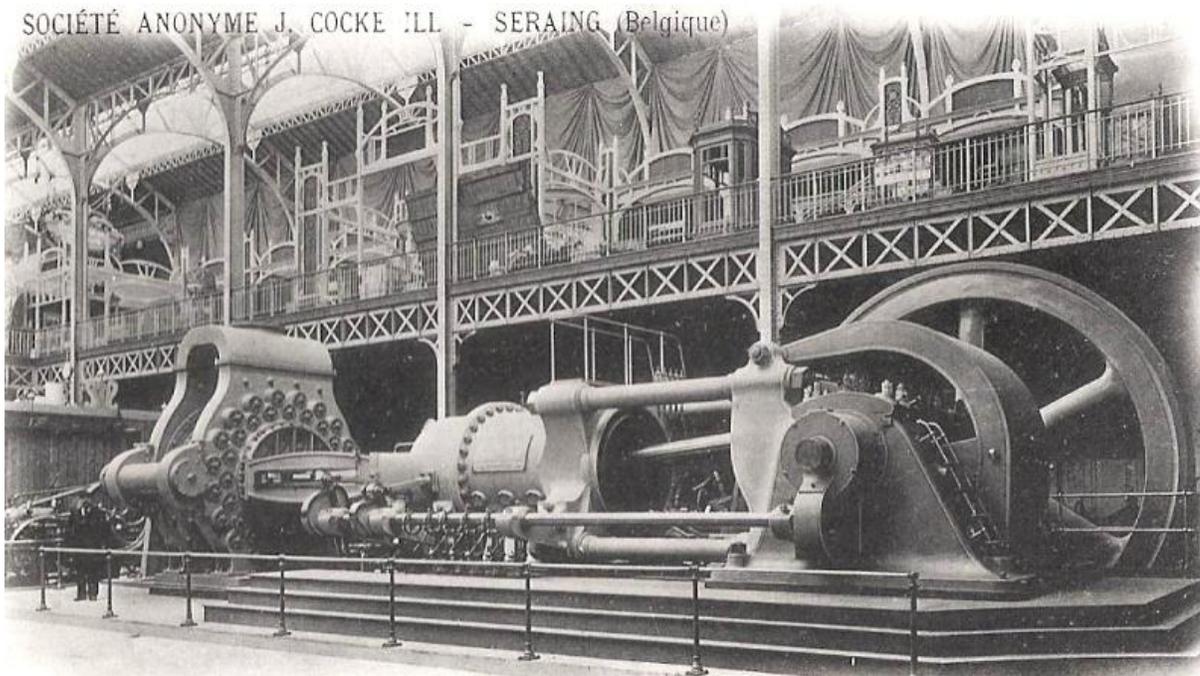
**Notre dépendance menace notre
économie et notre équilibre
sociétal**

**L'Europe n'aura jamais l'énergie
la moins chère**

**L'Europe doit devenir le leader
mondial de l'efficacité
énergétique**



Un monde en transition



Aux XIXe et XXe siècles, **l'énergie thermique** est devenue le principal vecteur énergétique grâce à la combustion du **charbon, du pétrole et du gaz**.



Un monde en transition

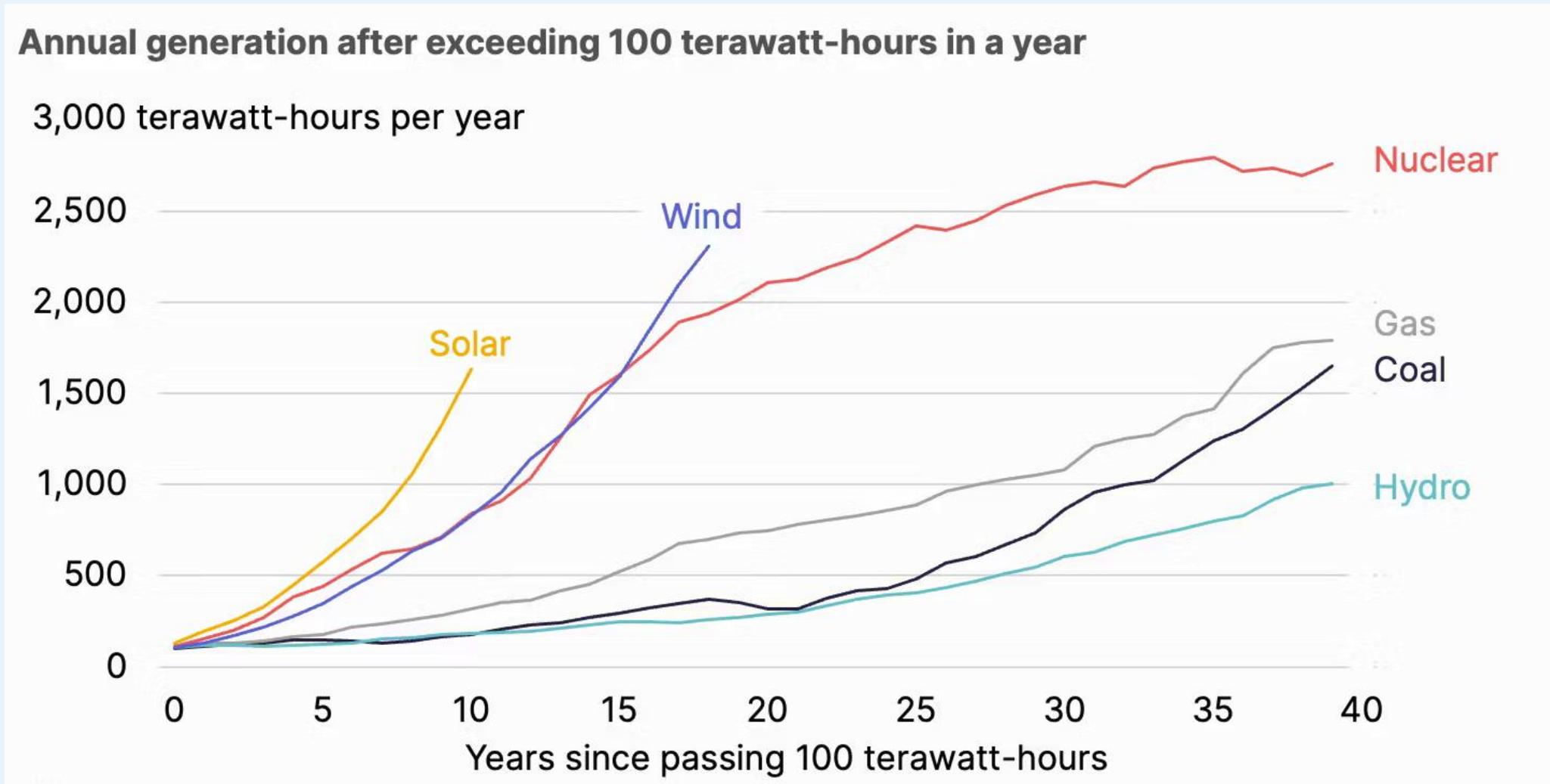


Dans les années à venir, **l'énergie électrique** deviendra le principal et le plus efficace vecteur d'énergie produite par **le vent, le soleil et l'eau**.



Un monde en transition

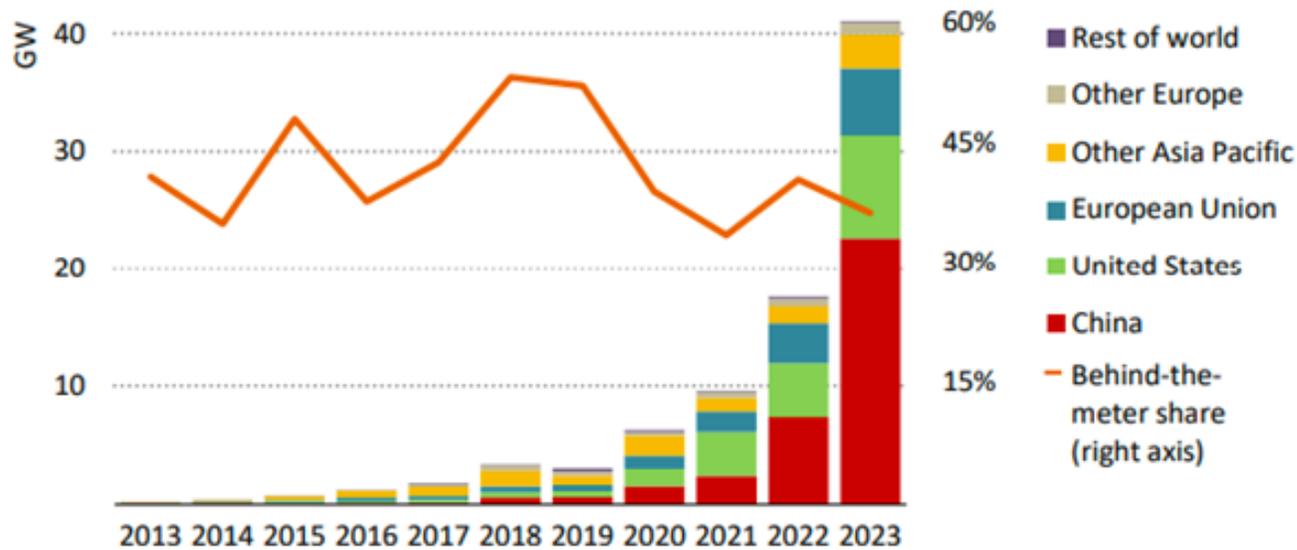
Les renouvelables se développent très vite



Un monde en transition

Les batteries se démocratisent et sont en forte croissance

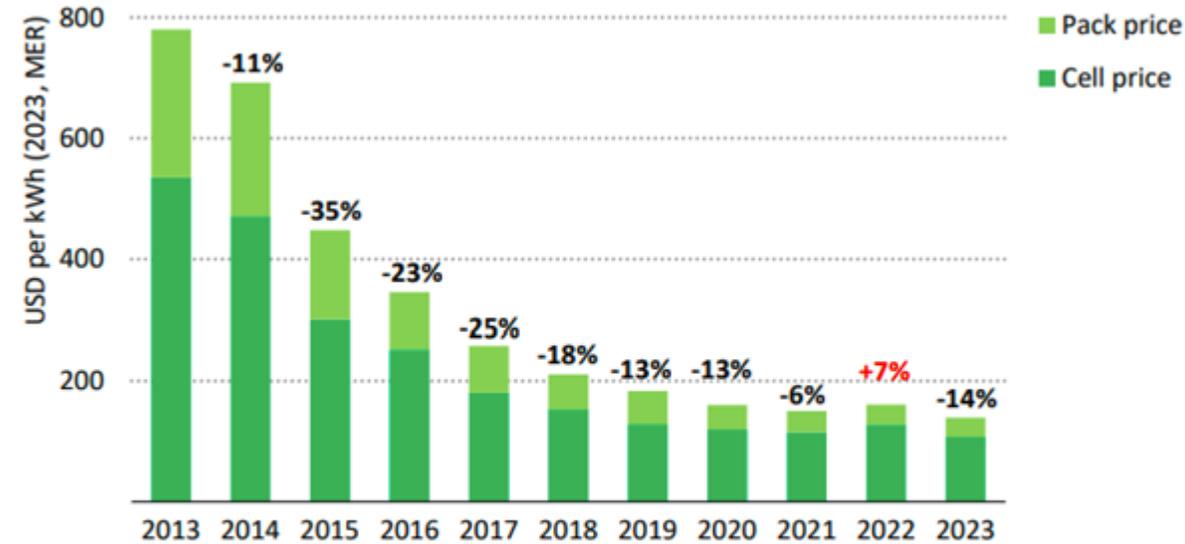
Figure 1.8 ▶ Battery storage capacity additions worldwide, 2013-2023



Capacity additions doubled in 2023,
led by China, the United States and the European Union

Note: GW = gigawatts.

Figure 1.2 ▶ Lithium-ion battery pack and cell prices, 2013-2023



Prices for lithium-ion batteries steadily declined over the last decade with a spike in 2022,
but dropping again in 2023

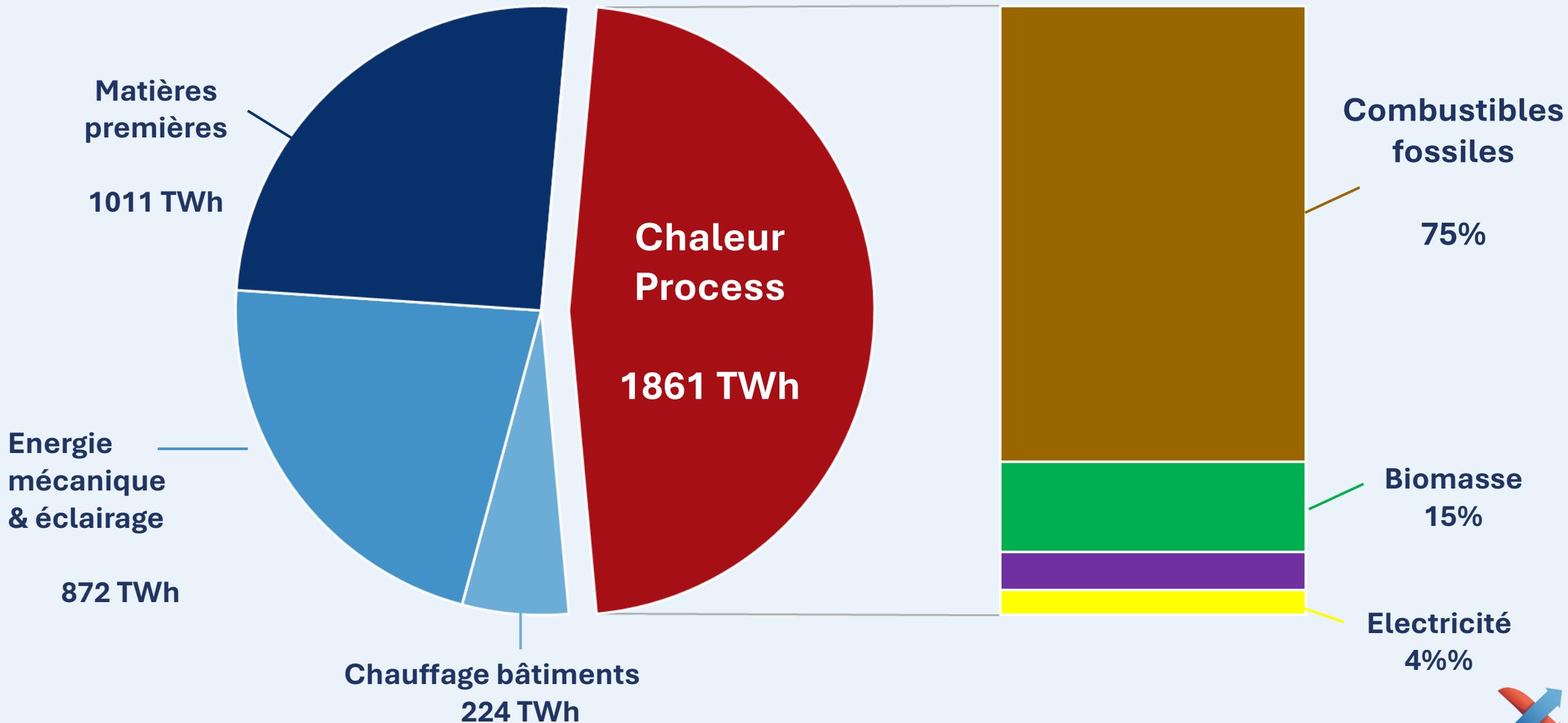
Notes: USD = US dollars, kWh = kilowatt-hours. Prices are weighted average across regions and chemistries.

Source: IEA analysis based on BNEF (2023a).

IEA. CC BY 4.0.



La chaleur industrielle, à 75 % fossile...



L'équilibre énergétique change

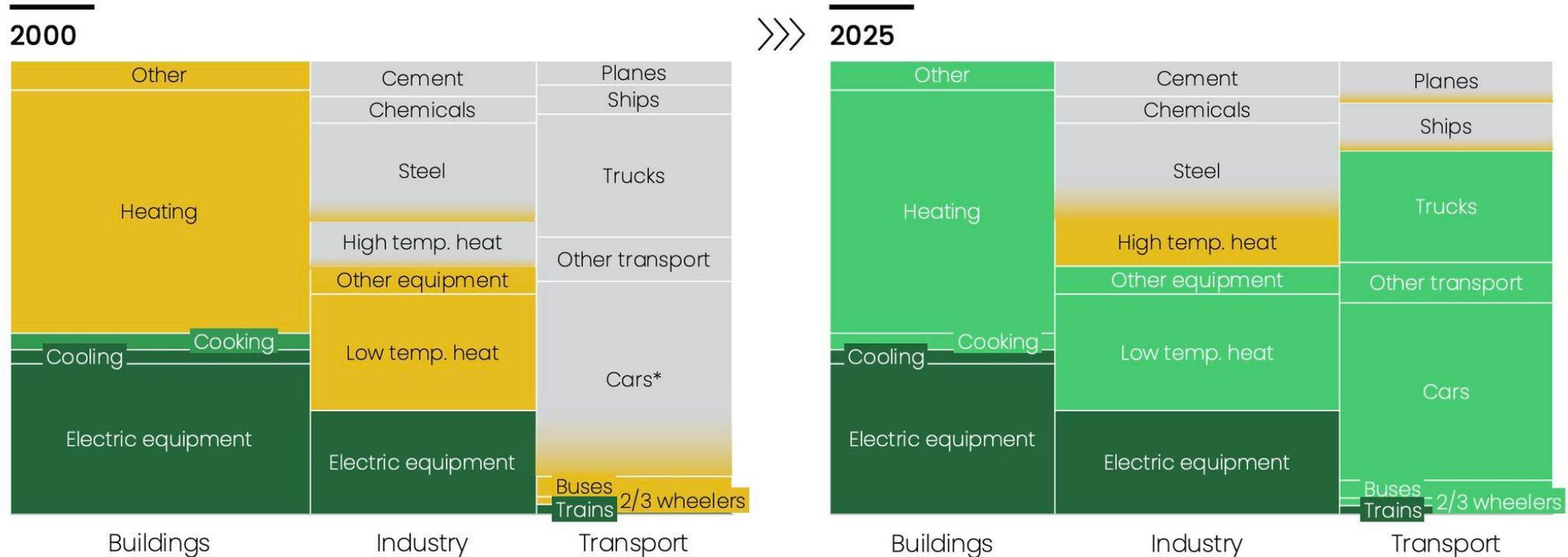
L'industrie s'électrifie : la chaleur recule, l'électricité progresse

The electrification ceiling is high and rising

Over 75% of the global energy system can now be electrified

- Already (largely) electrified
- Can be electrified technically
- Can be electrified economically
- Still under development

Share of final energy demand by subsector and electrification potential (%)



32 | Sources: IIASA; IEA; BNEF; Ember analysis • Note: excluding feedstock *Technologies available for subset of total end-use with a clear path to expansion



Que peut-on faire aujourd'hui avec UNE unité électrique ?

L'électrification amène beaucoup d'efficience

Recompression mécanique de vapeur (RMV)



Pompe à chaleur (PAC)



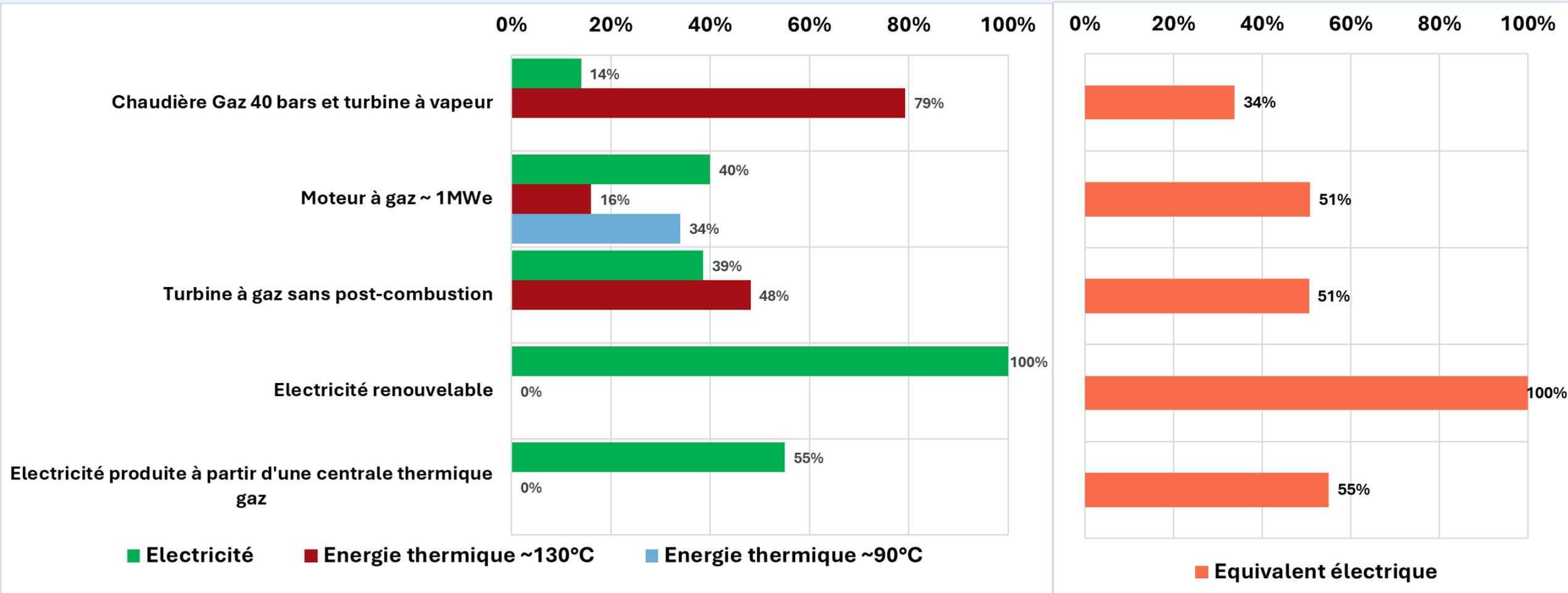
Cas d'exemple, dans certaines usines aujourd'hui,
1 kwh électrique peut générer au moins

4 kWh thermique à 130°C
5 kWh thermique à 90°C



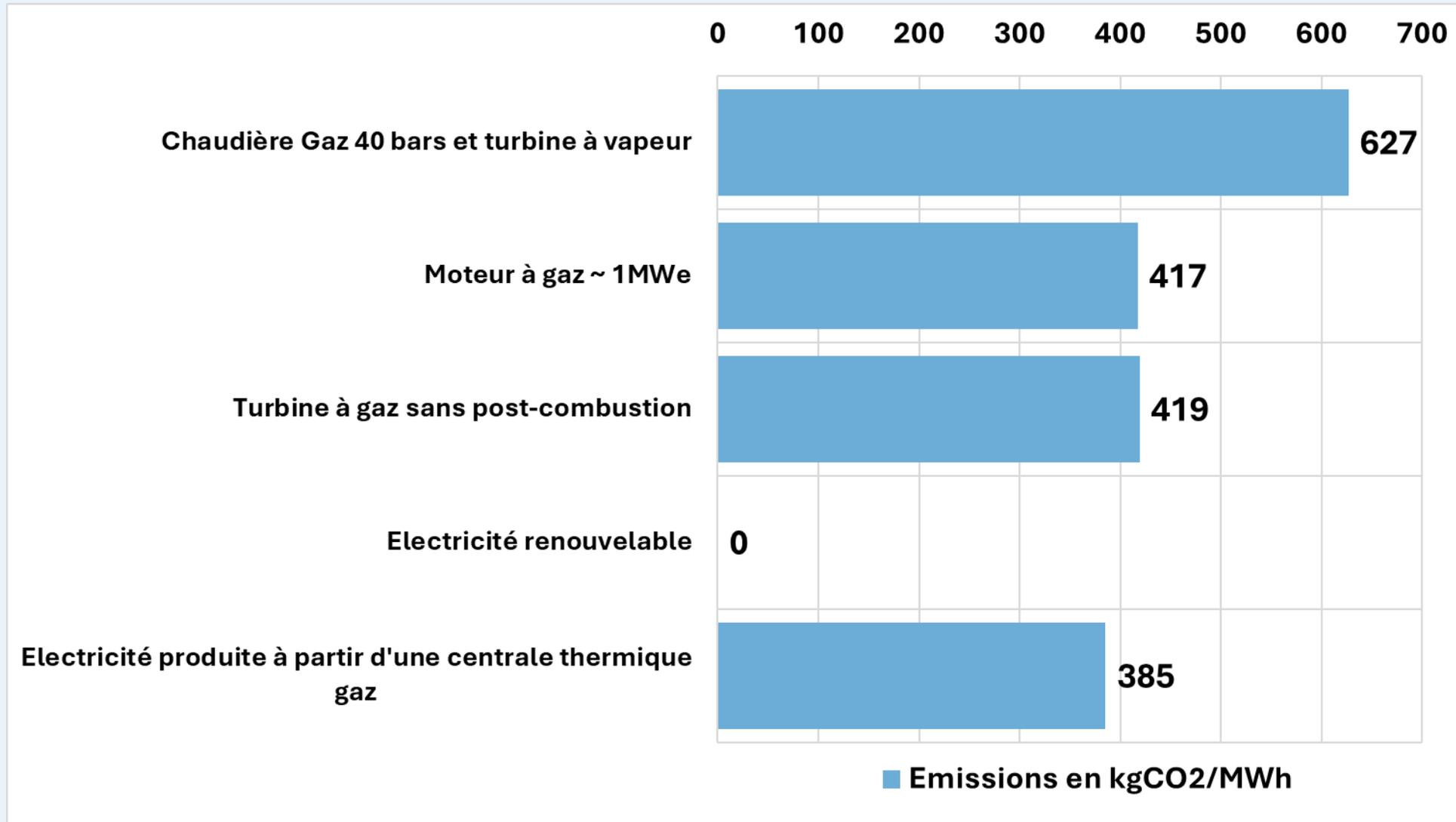
Que peut-on faire aujourd'hui avec UNE unité électrique ?

L'électrification amène beaucoup d'efficacité



Que peut-on faire aujourd'hui avec UNE unité électrique ?

L'électrification amène beaucoup d'efficacité



Révolution du carbone

L'UE s'engage dans une trajectoire Net-Zero en 2050

- ✓ Construire une industrie résiliente et efficiente
- ✓ Accélérer la formation et les compétences
- ✓ Soutenir l'innovation et l'industrialisation durable



Révolution du carbone

Le CO₂ devient le nouveau coût.

→ -55 % d'émissions en 2030, neutralité 2050 (UE).

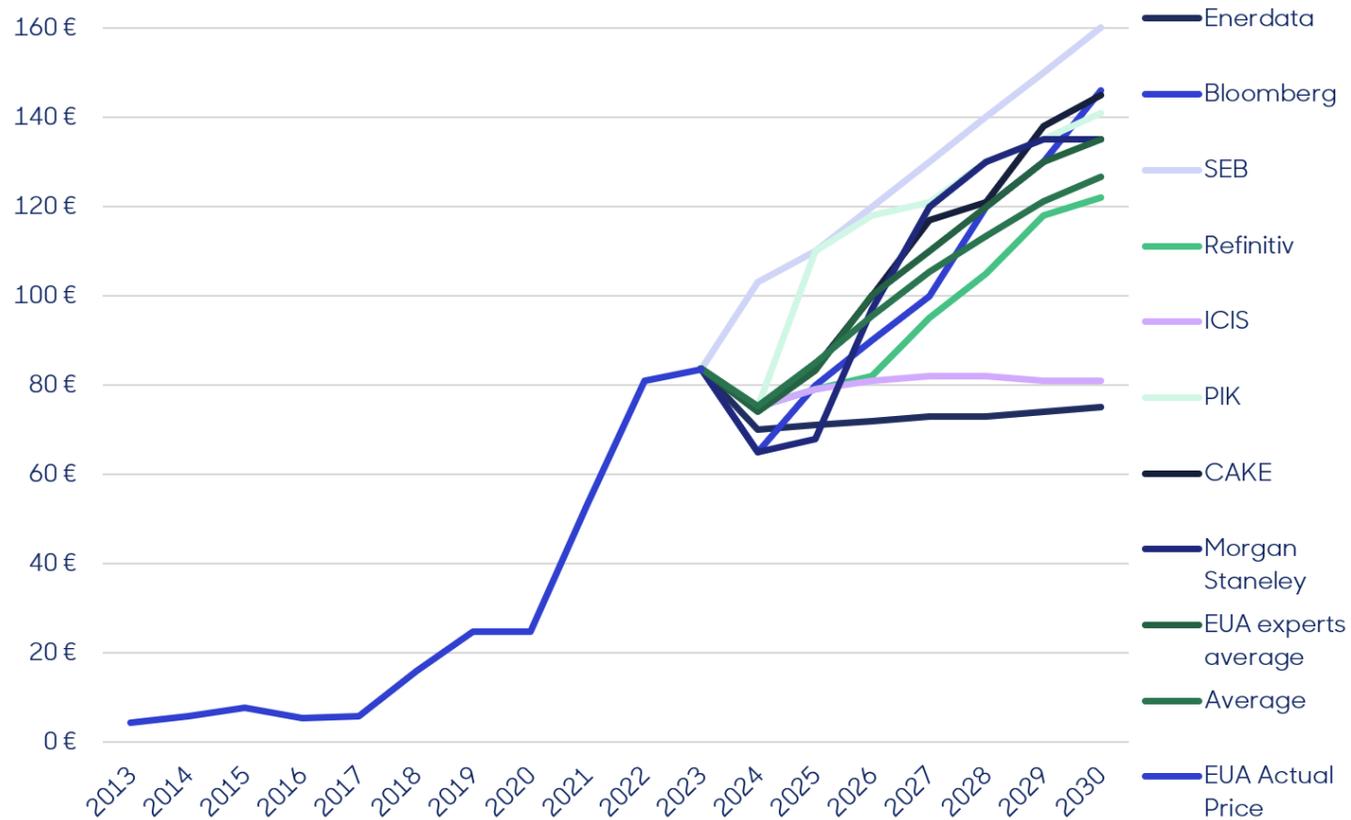
✓ Avant 2017 : < 10€/TCO₂

✓ Octobre 2025 : 78 €/TCO₂

✓ 2030: 120-160 €/TCO₂

Les industriels raisonnent désormais en « € / tonne évitée », plus en « % de rendement ».

Experts EUA Price Forecast on the rise



Source: Public Surveys

homaio.



La cogénération : efficace, oui... mais pas forcément sobre

Une machine performante... qui a parfois figé des logiques énergivores.

- 1 Un dimensionnement sur la chaleur disponible, pas sur le besoin réel**
 - le talon résiduel, un frein à l'électrification
- 2 Un rendement global trompeur**
 - le cas des moteurs gaz
- 3 Une chaleur bon marché = une incitation à consommer**
 - frein aux projets d'efficacité énergétique
- 4 Une inertie technico-économique**
 - cogénérations récentes non-amorties → frein au remplacement par des productions de chaleur électrifiées



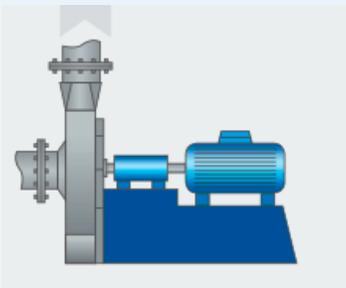
La cogénération de demain

Quelles technologies et comment les assembler ?

Chaudière électrique à résistance



Compression mécanique de vapeur



Stockage thermique

Production de vapeur avec une chaudière gaz décarboné



Chaudière électrique à électrodes



Petite Chaudière biomasse



Stockage électrique



Pompe à chaleur



Les leviers de décarbonation

1 NE PAS UTILISER **SOBRIETE**
Ne pas consommer et adapter ses besoins

2 UTILISER MOINS **EFFICIENCE ENERGETIQUE**
Utiliser moins de ressources pour le même résultat

3 UTILISER AUTREMENT **SWITCH ENERGETIQUE**
Consommer autant, mais avec des ressources moins carbonées

4 REUTILISER **CAPTURE CARBONE ET UTILISATION**
Essayer de garder le carbone dans un cycle circulaire

5 COMPENSER **CREDITS CARBONE**
Laisser les autres le faire à votre place !



Repenser la cogénération selon quatre trajectoires crédibles

De la combustion fossile à l'hybridation intelligente des énergies

Il n'y a pas UN futur de la cogénération, mais PLUSIEURS trajectoires possibles selon le profil industriel.

4 trajectoires se dégagent



la **substitution directe par du biométhane** — simple sur le papier, mais limitée en volume et en coût.



l'hybridation gaz + PAC ou MVR, qui permet de réduire la conso de gaz tout en gagnant en flexibilité.



le rôle de **flexibilité électrique** : les cogés deviennent des “backups” pour le réseau plutôt que des producteurs permanents.



la trajectoire la plus radicale : **l'industrie tout-électrique**, qui supprime la combustion mais exige une transformation profonde des procédés.

Le point commun : toutes passent par moins de combustion et plus de pilotage.



exergia

UNLOCK YOUR INDUSTRY TRANSITION



Sébastien Schellen
Founder

+32 479 41 38 07

sebastien.schellen@exergia.be

Adrien Couplet
Process Engineer & Associate

+32 471 07 56 75

adrien.couplet@exergia.be

Exergia
www.exergia.be

