

LA COGENERATION

Robert Baget

1

PLAN

- I – Présentataion de la cogénération**
- II – Moteurs à combustion interne**
- III – Moteurs à combustion externe**
- IV – Turbines à gaz / fuel**
- V – Turbines à vapeur**
- VI – Piles à combustibles**

2

Cogénération:

Définition: Production thermodynamique simultanée de 2 (ou plusieurs) formes d'énergie à partir d'une même énergie primaire

En pratique: production combinée d'électricité et de chaleur valorisée à partir d'un même combustible

Classement:

- Micro-cogénération domestique: $P_{\text{électrique}} < 3\text{KW}$
- Micro-cogénération: $P_{\text{électrique}} < 50\text{KW}$
- Mini-cogénération: $50\text{KW} < P_{\text{électrique}} < 215\text{KW}$
- Petite-cogénération: $215\text{KW} < P_{\text{électrique}} < 1\text{MW}$
- Moyenne-cogénération: $1\text{MW} < P_{\text{électrique}} < 12\text{MW}$
- Grande-cogénération: $P_{\text{électrique}} > 12\text{MW}$

3

La micro-cogénération domestique

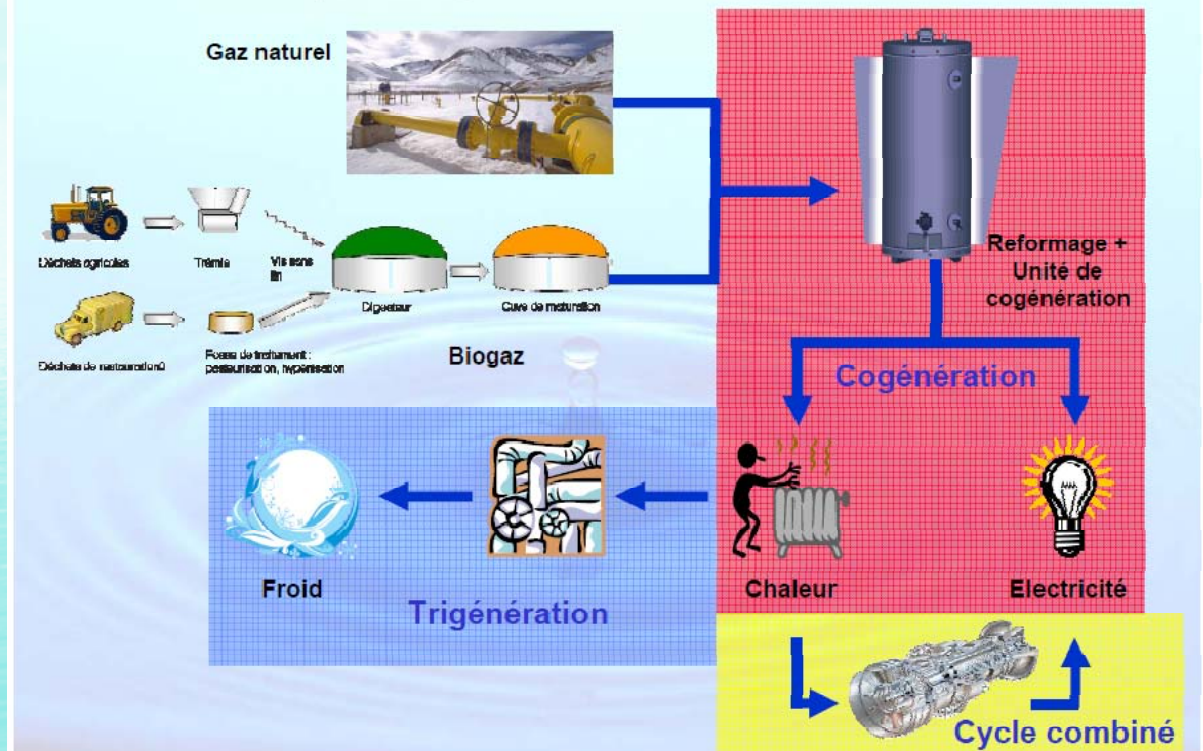
Production simultanée d'énergie mécanique (ou d'électricité) et de chaleur utile dans une même installation de puissance électrique inférieure à $15\text{ kW}_{\text{élec}}$

Remplacer la chaudière de chauffage central par un système énergétique permettant de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur : concept de « *chaudière électrogène* » (GdF)

- Applications: petits hôtels, ateliers, villas,...
- Souvent rentables si la puissance (+ heures) correspond aux besoins de chaleur et si l'électricité produite est autoconsommée

4

Le principe de la cogénération



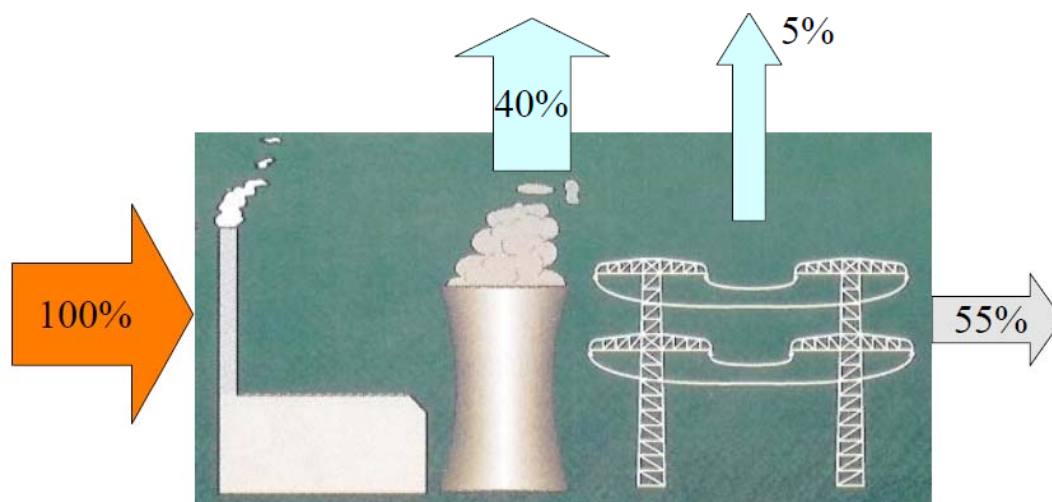
5

La cogénération: historique

- **Technologie déjà ancienne: dans les années 1920 industrie sucrière**
- **Dans les années 1970, crise pétrolière: développement dans d'autres industries**
- * **Au début des années 2000: développement dans de gros bâtiments**
- **2004: dans de plus petits bâtiments**
- **2009: début de commercialisation dans le secteur résidentiel**

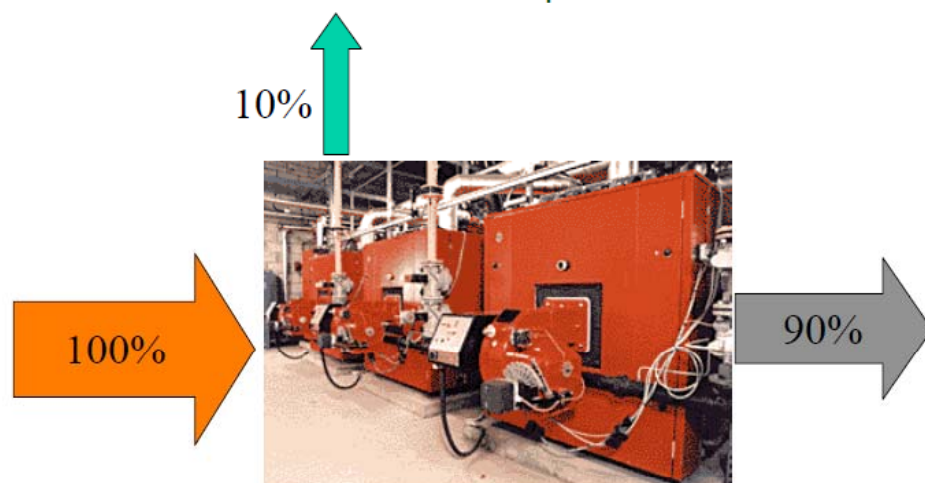
6

⇒ Production électrique classique: Installation très performante



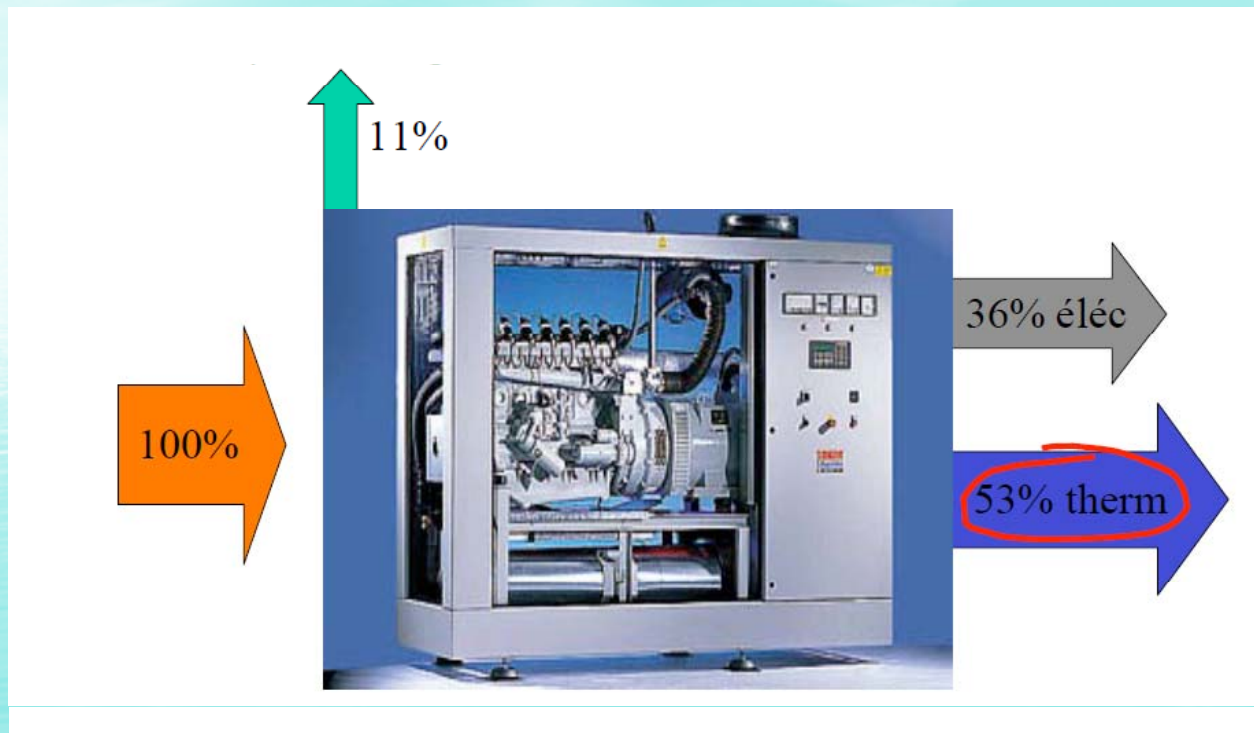
7

⇒ Production de chaleur classique: rendement saisonnier de 90%



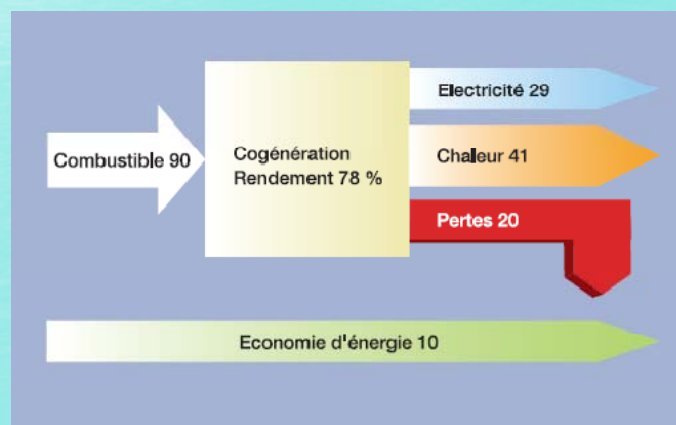
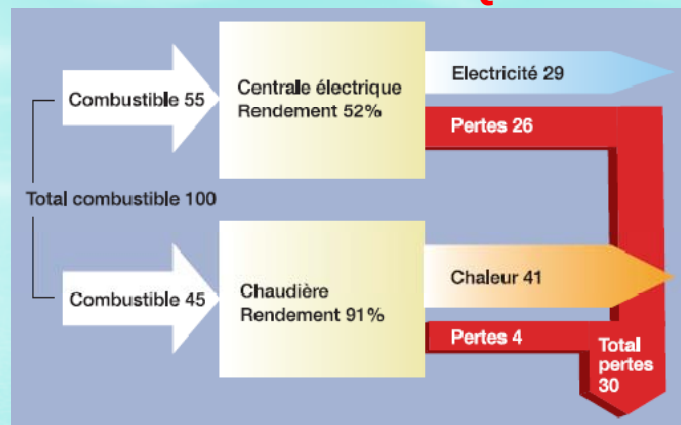
8

La cogénération: principe



9

BILAN ENERGETIQUE

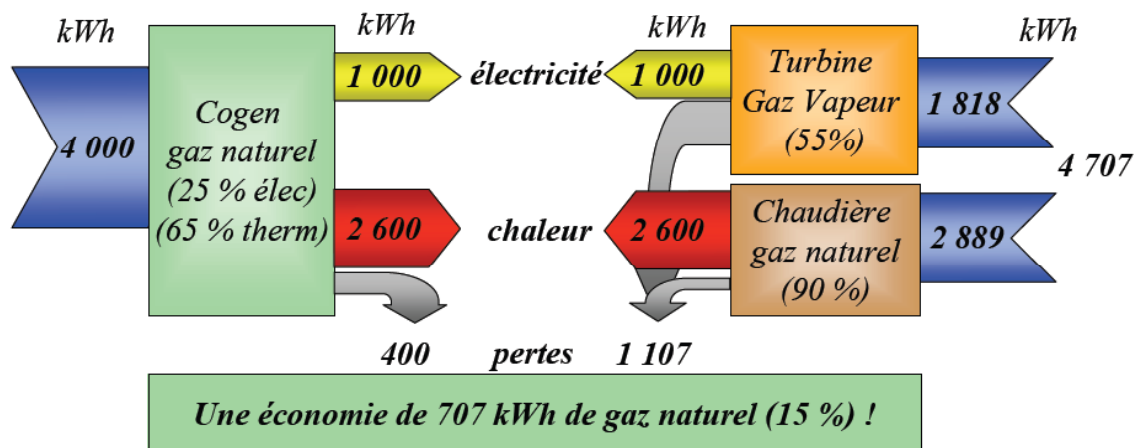


Gain de 10 à 20 %

10

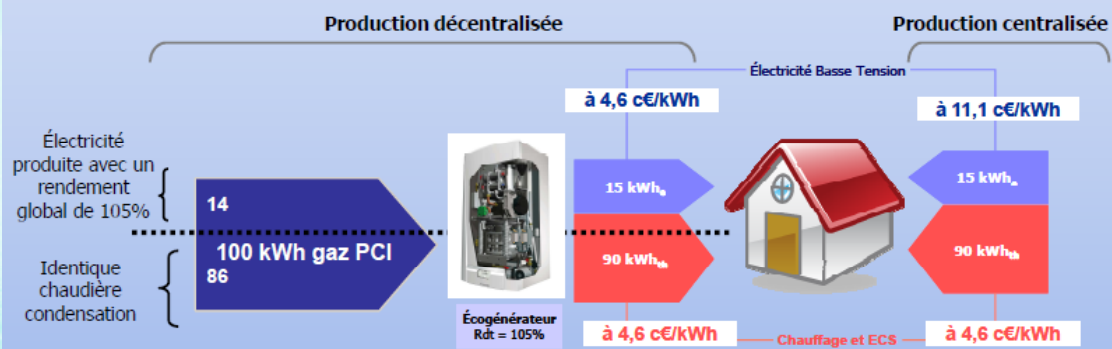
La cogénération: objectif

- $\Rightarrow$ Produire chaleur **et** électricité avec la **même** machine



11

Des économies sur la facture énergétique pour le consommateur pour chaque kWh produit



Le chauffage, l'ECS et l'électricité sont produites avec un rendement de 105%

La production d'électricité de l'écogénérateur revient à 4,6 c€/kWh, soit 2,4 fois moins chère que le tarif bleu à 11,1 c€ (basé sur prix kWh TTC au 1^{er} avril- tarifs réglementés)

Émissions de CO₂ : 223 g/kWhe produit, soit environ 2,7 fois moins que le contenu électrique marginal de 600 gCO₂/kWhe

12

Le triple bénéfice de l'écogénérateur

Comparaison avec une chaudière condensation ou une PAC électrique et un système de production électrique centralisée

Economiques

Réduction
facture énergétique
annuelle jusqu'à 15%



Environnementaux

Réduction de 25%
des émissions de CO₂
(une tonne de CO₂ évitée / an)

Énergétiques

Économie d'énergie
primaire de 15 %

13

TECHNOLOGIES EMPLOYEES

- ⇒ **Récupération de la chaleur** sur des technologies existantes de **production d'électricité**

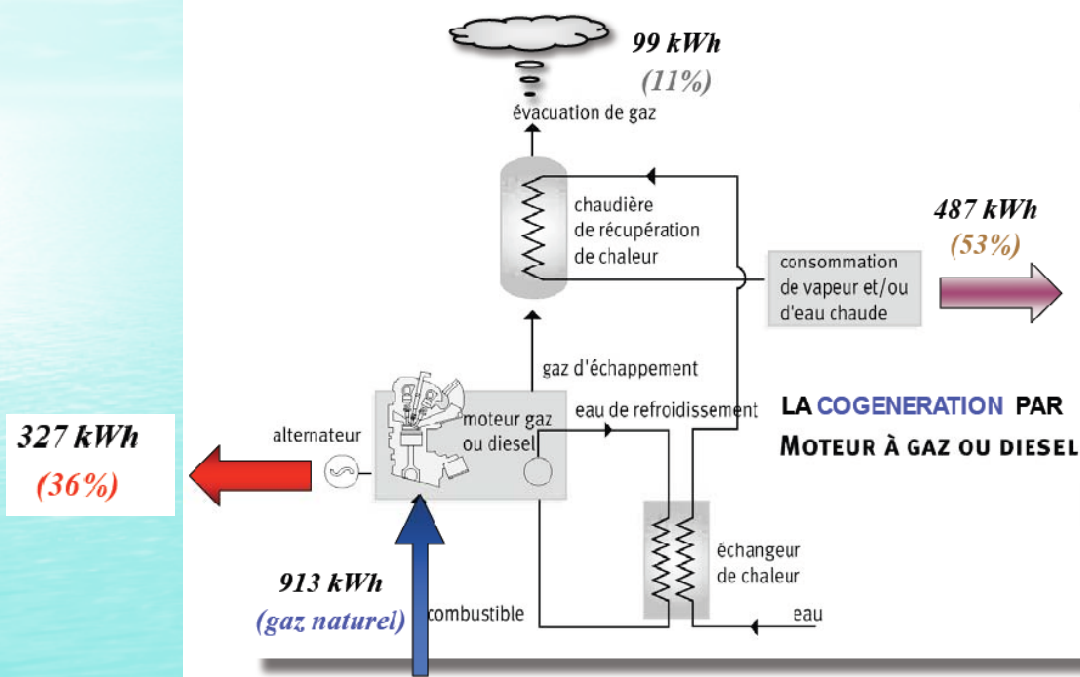
- Groupes électrogènes (moteur à combustion interne)
- Moteur Stirling (moteur à combustion externe)
- (Turbines à gaz/biogaz/mazout)
- (Turbines à vapeur – moteur vapeur)
- Pile à combustible

Type de combustible :

- Combustibles fossiles : gaz, mazout, propane, charbon, ...
- Combustibles renouvelables : bois, biogaz, biodiesel, huiles,...

14

MOTEUR A COMBUSTION INTERNE



15

MOTEUR A COMBUSTION INTERNE



⇒ ECOPOWER représenté par Bulex

Combustible	gaz naturel / propane
Puissance électrique	2.0 – 4.7 kW _e (puissance modulante)
Puissance thermique	6.0 – 12.5 kW _{th}
Rendement	25 % électrique + 65 % thermique
Monocylindre	270 cm ³ (Briggs & Stratton)
Vitesse	1700 – 3600 rpm
Emission	Catalyseur 3-voies
(5%O ₂)	NOx < 70 mg/Nm ³ et CO < 400 mg/Nm ³
Echappement	120 °C ou 90 °C si option condensation
T retour max	60 °C
T aller max	75 °C

16

MOTEUR A COMBUSTION INTERNE

Caractéristiques	A		B		C	
	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>P</i>	<i>R</i>
	(kW)	(%)	(kW)	(%)	(kW)	(%)
Consommation de gaz ($\dot{C}$)	171,7	100	2 191	100	9 520	100
Puissance sur l'arbre	55,2	32	790	36,1	3 956	41,5
Puissance aux bornes ($\dot{W}$)	47,7	27,8	750	34,2	3 820	40,5
Puissance thermique à l'échappement	51,7	30,1	497	22,7	3 213	33,8
Puissance thermique au refroidissement HT	30,6	17,8	562	25,6	730	7,7
Puissance thermique au refroidissement BT			209	9,5	1 290	13,5
Autres pertes	34,2	2	135	6,10	330	3,5
Débit-volume d'échappement	600 m ³ /h		5 051 kg/h		27 t/h	
Température d'échappement (°C)	670		350		367	
Puissance électrique ($\dot{W}$)	47,7	27,8	750	34,2	3 820	40,5
Puissance thermique récupérée sur l'échappement ($\dot{Q}_e$)	44	25,6	327	14,6	2 280	24,0
Puissance thermique récupérée sur refroidissement ($\dot{Q}_r$)	30,6	17,8	562	25,6		
Puissance thermique totale produite ($\dot{Q}$)	74,6	43,4	889	40,5	2 280	24
Rendement global [($\dot{W} + \dot{Q}$)/ $\dot{C}$]	71,2 %		74,7 %		64,5 %	
Rapport chaleur-force ($\dot{Q}/\dot{W}$)	1,6		1,25		0,58	
Consommation spécifique équivalente	1,8		1,9		1,83	

A: moteur FORD de 47,7 KW à 1500 tr/mn

B: moteur WAUKESKA de 750 KW à 1000 tr/mn

A: moteur CATERPILLARD de 3820 KW à 1000 tr/mn

17

MOTEUR A COMBUSTION INTERNE

- **Moteurs à combustion interne (à gaz) :**
 - **systèmes disponibles commercialement**

www.senertec.de

www.ecopower.de

www.hondapower.com

Rendement: 65 à 90 %

Puissances: 1KW à 10MW

18

MOTEUR A COMBUSTION INTERNE

⇒ **ecoGEN** représenté par Cogenco – www.cogenco.be

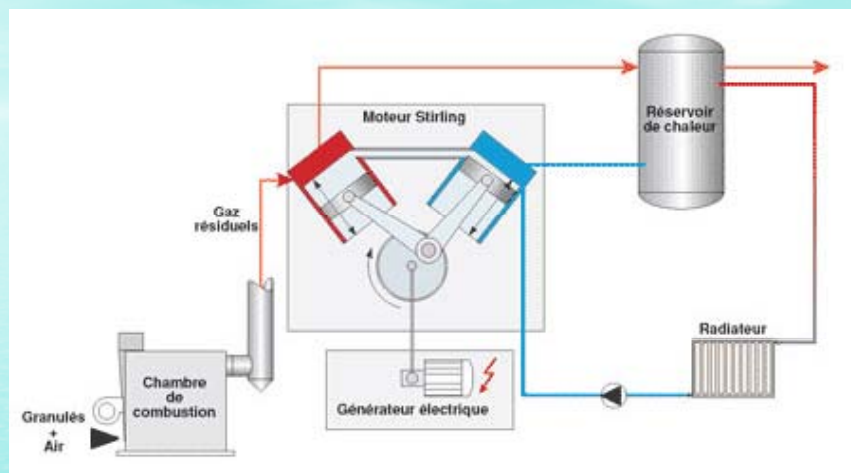
Combustible	gaz naturel / propane / mazout / huile végétale / biodiesel
Puissance électrique	8 ou 12 ou 17 ou 20 ou 25 ou 30 ou 43 ou 50 ou 75 kW _e
Puissance thermique	18 ou 26 ou 36 ou 35 ou 44 ou 65 ou 72 ou 67 ou 95 kW _{th}
Rendement	28 à 36 % électrique + 65 à 46% thermique



↑
1.2 m
↓

19

MOTEUR A COMBUSTION EXTERNE

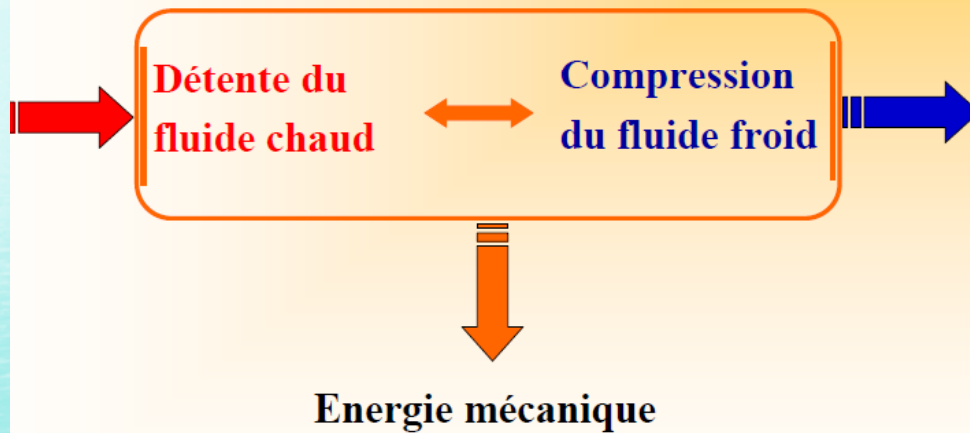


Le moteur Stirling est un moteur à combustion externe, basé sur le principe du travail d'un gaz chaud, qui se dilate lorsqu'on lui transfère de la chaleur et qui se rétracte quand on le refroidit. Le moteur Stirling peut donc travailler avec différents combustibles

20

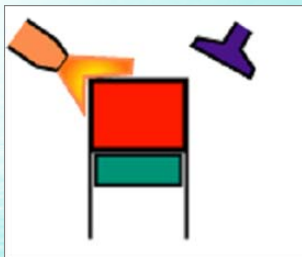
MOTEUR A COMBUSTION EXTERNE

Les moteurs STIRLING

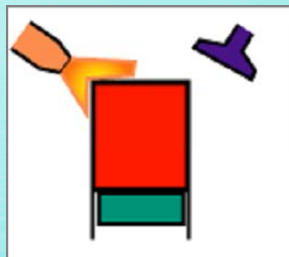


21

Les 4 cycles



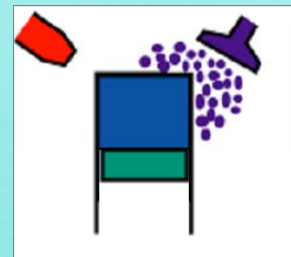
Chauffage
isochore



Détente
isotherme

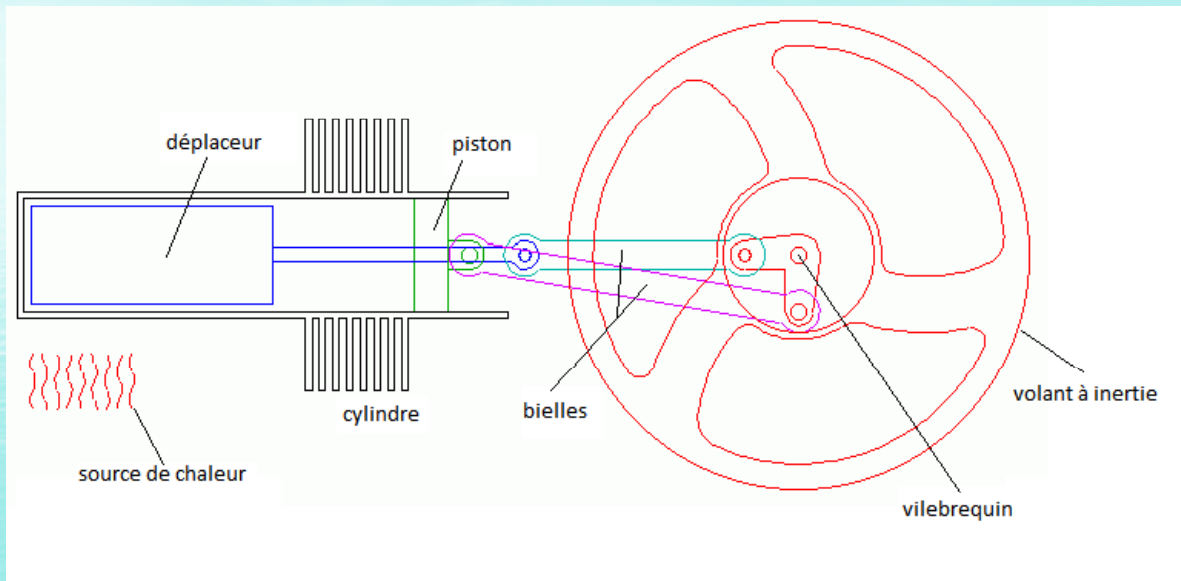


Refroidissement
isotherme



Compression
isotherme

Mécanique



Stirling > Fonctionnement > Mécanique

MOTEUR STIRLING A COMBUSTION EXTERNE

- Ni soupapes, ni clapets
- Cinq espaces de travail
 - **E** *expansion* espace de détente
 - **H** *heater* 'réchauffeur'
 - **R** régénérateur
 - **K** *cooler* 'refroidisseur'
 - **C** espace de compression

