

M2

Les sources d'énergie - Transformations - Les perspectives du marché énergétique



Sommaire

1. // Les formes d'énergie

1.1. Définitions et Conversions

1.2. Propriétés des combustibles courants

2. // La transformation de l'énergie

2.1. Les transformations courantes

2.2. Chaudière vapeur et eau

2.3. Turbine à vapeur avec cogénération

2.4. Turbine à gaz avec cogénération

2.5. Moteur à gaz avec cogénération

2.6. Cycle combiné vapeur et gaz avec cogénération

2.7. Comparaison de cogénération

2.8. Pompes à chaleur

2.9. Solaire

2.10 Energie à partir des résidus

3. // Les perspectives du marché énergétique

3.1. Demande d'énergie primaire

3.2. Réserves de pétrole

3.3. Réserves de gaz

3.4. Conclusions

1. Les formes d'énergie

1.1. Définitions et Conversions

- L'«Energie» est toujours exprimée dans un certain laps de temps, une heure, une semaine, une année, etc
- La "Puissance" est une expression momentanée de la capacité de produire, de transmettre ou de consommer. C'est la vitesse à laquelle l'énergie est consommée
- Énergie = puissance multipliée par le temps
- 1 MWh = 1000 kWh = 1000 000 Wh

Temps:

- 1h = 3600 s

Energie:

- 1 Wh = 3600 J = 3,6 kJ

Puissance:

- 1 W = 3,6 kJ/h = 1 J/s
- 1 MW = 3,6 GJ/h

Multiples de milliers :

- 1
- 1000 = Kilo (k)
- 1000 k = Mega (M)
- 1000 M = Giga (G)
- 1000 G = Tera (T)
- 1000 T = Peta (P)

Source:

Equipe du projet UP-RES /Aalto University

1. Les formes d'énergie

1.2. Propriétés des carburants courants

Carburant	Calorifique inférieur		CO ₂ émission g/MJ	SO ₂ émission g/MJ
	MJ/kg	MJ/m ³		
Gaz naturel	36		56	0
Charbon	26		91	0,4
Pétrole	41		76	?
Tourbe	22		106	0
Bois résidu	20		0	0

D'après le tableau ci-dessus :

- 1 kg de pétrole contient plus d'énergie que 1 kg de charbon, soit + 58%.
- 1 MJ de charbon produit presque deux fois plus d'émissions de CO₂ que le gaz naturel
- **Les centrales à charbon et à pétrole lourd devraient être soumises à désulfuration pour réduire leurs émissions de SO₂**
- La désulfuration est très coûteuse et n'est utilisée que dans de grandes centrales à grosse production.

Source:

Equipe du projet UP-REAalto University

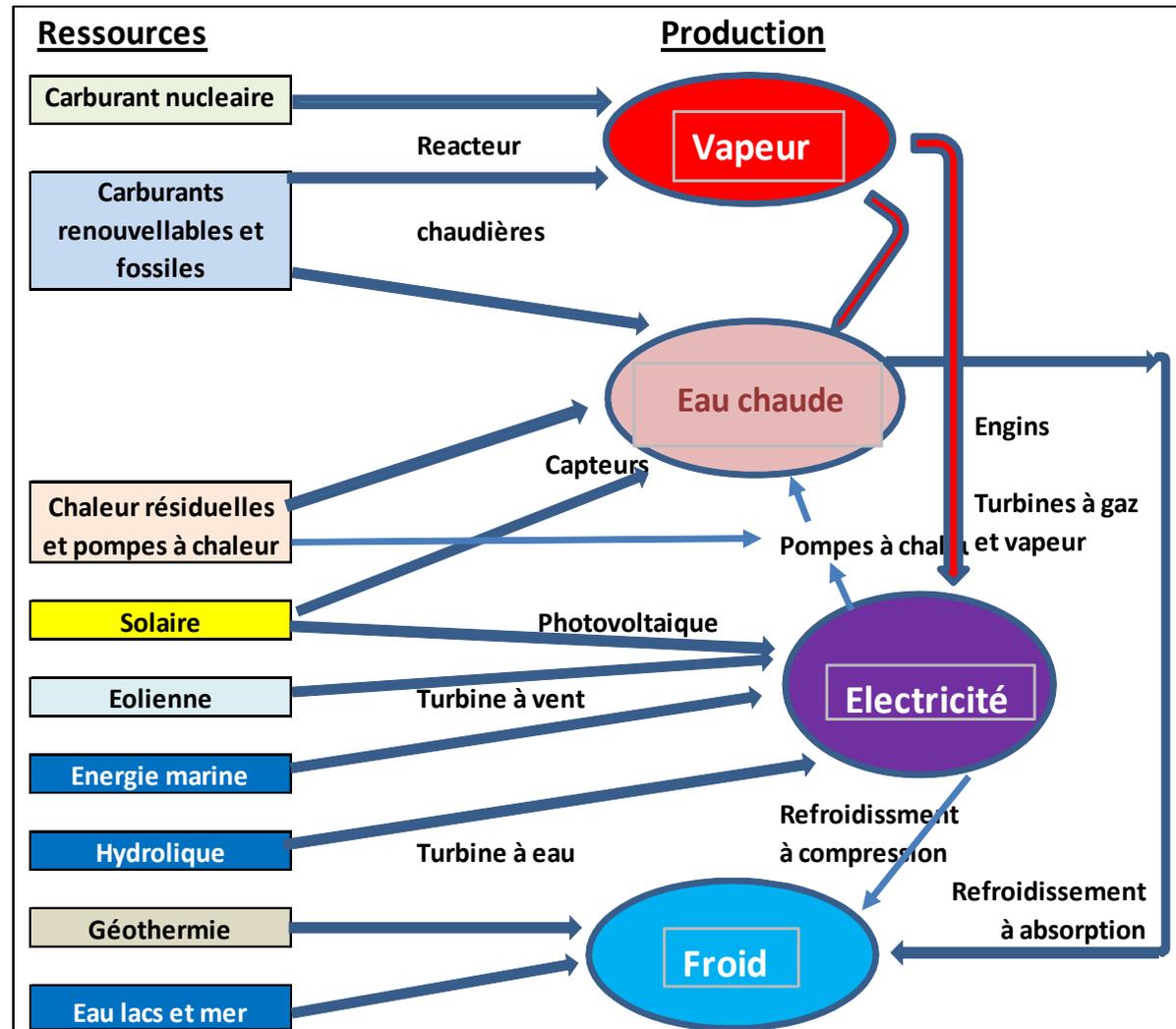
2. La transformation de l'énergie

2.1. Les transformations courantes

Des ressources à la production

Le rendement de la transformation varie selon les cas

Le terme "Electricité" ci contre correspond à l'énergie électrique et mécanique

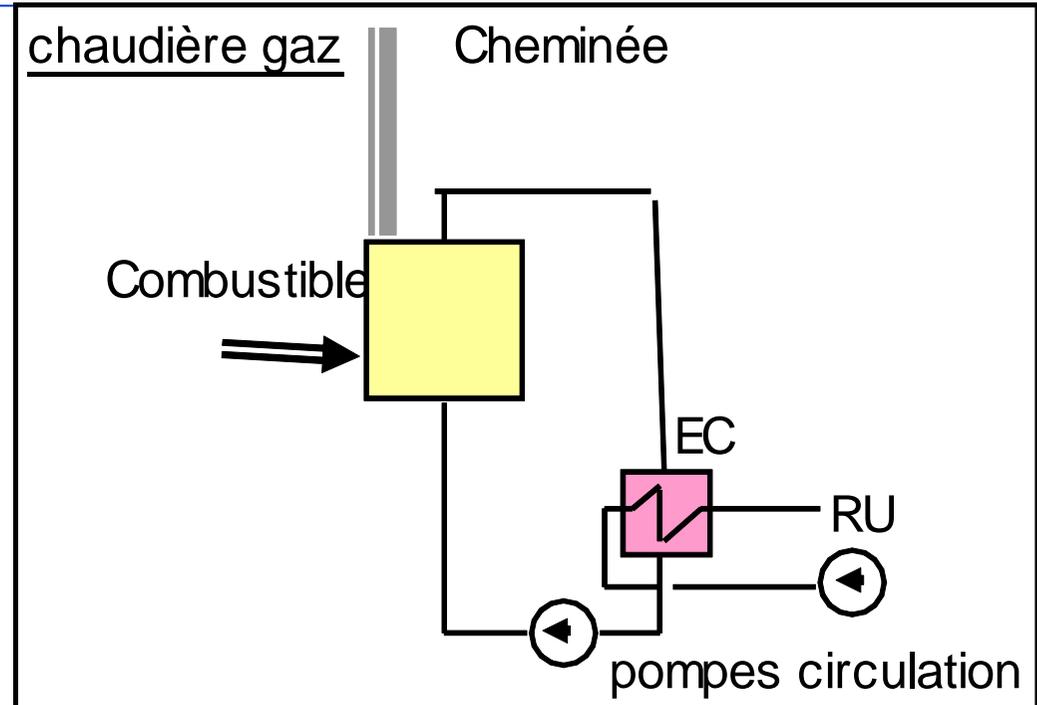


Source: Equipe du projet UP-RES/Aalto University

2. La transformation de l'énergie

2.2. Chaudière à vapeur et à eau

- Exemple d'une chaudière à vapeur et autres gaz
- Rendement (= production de chaleur/apport énergétique):
 - Gaz: 94-97%
 - Fuel: 91-93%
 - Charbon: 87 – 93%
 - Biomasse: 86-92%
- Les chaudières à vapeur sont utilisés pour la production d'électricité et dans l'industrie alors que les chaudières à eau sont seulement utilisées pour les chauffages de réseaux urbains.



EC: échangeur de chaleur
RU: réseau urbain

Source:
Equipe du projet UP-RES/Aalto University

2. La transformation de l'énergie

2.3. Turbine à vapeur avec production combinée de chaleur et d'électricité (1)

Le rotor est constitué de lames à travers laquelle la vapeur s'écoule pour le faire tourner.

Le rotor entraîne la rotation du générateur produisant de l'énergie électrique pour le réseau.

Quand la vapeur sort de la turbine, elle se condense en eau et est redistribuée à la chaudière pour un nouveau cycle de chauffage et d'évaporation.



Un rotor de turbine à deux flux. La vapeur pénètre dans le milieu de l'arbre, et ressort aux deux extrémités, équilibrant ainsi la force axiale dans la turbine.

Source: www.wikipedia.org

2. La transformation de l'énergie

2.3. Turbine à vapeur avec production combinée de chaleur et d'électricité (2)

La pression de vapeur à l'entrée est généralement de 50 à 150 bars.

Les températures de vapeur à l'entrée sont habituellement de 500 à 550 °C.



Pales d'un rotor de turbine à vapeur en cours de révision

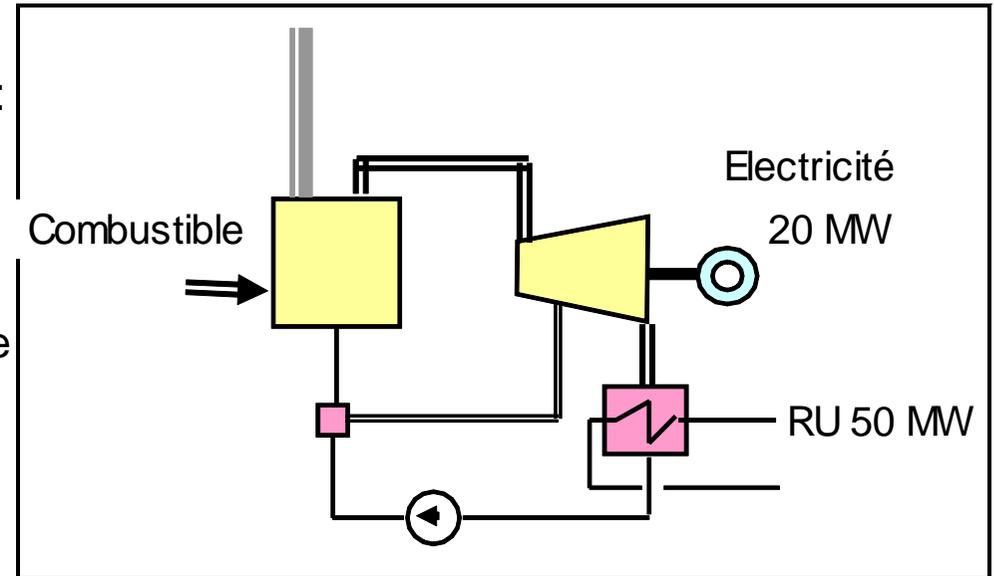
Source: www.wikipedia.org

2. La transformation de l'énergie

2.3. Turbine à vapeur avec production combinée de chaleur et d'électricité (3)

Etapas de fonctionnement d'une centrale à vapeur à combustible solide :

1. Combustible et air pour la combustion à vapeur
2. La vapeur alimente la turbine à vapeur, dans laquelle la rotation du rotor entraîne le générateur d'énergie pour produire de l'électricité
3. La chaleur résiduelle est récupérée par extraction de la turbine ou à la fin de l'arbre de la turbine pour le chauffage du réseau urbain
4. L'eau de condensation retourne à la chaudière au moyen de pompes à eau et du flux du réservoir d'eau.
5. En l'absence de Réseau urbain, la chaleur serait renvoyée à perte dans l'atmosphère (tour de refroidissement) ou sous forme d'eau (rejet dans mer, lac, rivière par échangeur de chaleur).



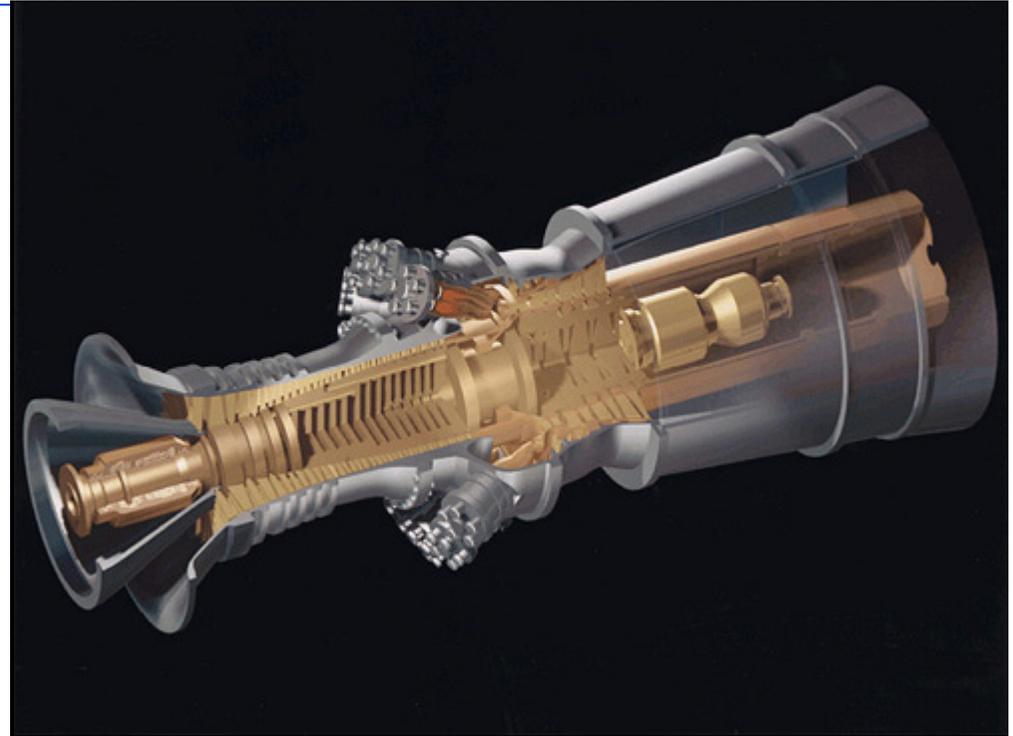
Source:
Equipe du projet UP-RES/Aalto University

2. La transformation de l'énergie

2.4. Turbine à gaz avec production combinée de chaleur et d'électricité (1)

Les turbines à gaz peuvent être alimentées avec du gaz naturel et/ou du fioul léger.

Dans la production d'énergie de la turbine à gaz, la température des gaz d'échappement doit être très élevée pour produire du chauffage urbain ou de la vapeur, en plus de l'énergie électrique.



Une grande turbine à gaz pour une production d'électricité de 480 MW. Sur la gauche se trouve le compresseur d'air d'entrée, au centre la chambre de combustion avec entrée de gaz, et sur la droite la turbine à gaz (fabricant: GE)

Source: www.wikipedia.org

2. La transformation de l'énergie

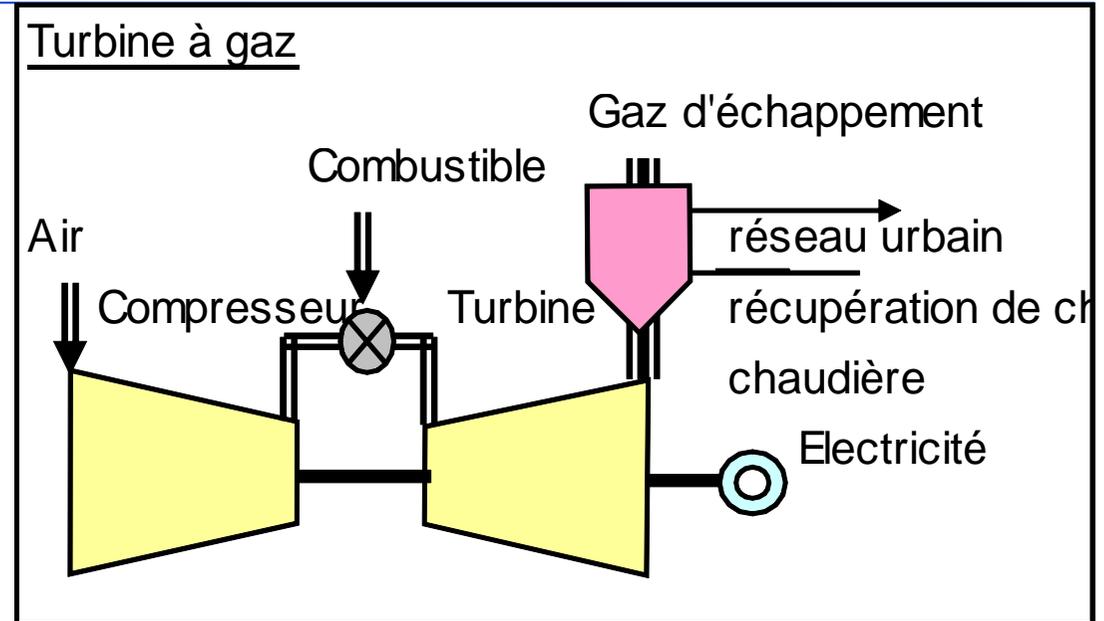
2.4. Turbine à gaz avec production combinée de chaleur et d'électricité (2)

Le compresseur, la turbine à gaz et le générateur d'énergie sont dans le même volume.

Le combustible brûle avec l'air dans la chambre de combustion à haute pression.

Le gaz d'échappement à pression élevée fait tourner le rotor de la turbine à gaz qui entraîne le compresseur et le générateur.

La chaudière de récupération de chaleur refroidit les gaz de combustion et la chaleur récupérée est introduite dans le réseau de chauffage urbain



Une chaudière de récupération de chaleur extrait la chaleur des gaz de combustion pour chauffer les réseaux de chauffage urbain.

Source: Equipe du projet UP-RES/Aalto University

2. La transformation de l'énergie

2.5. Centrale Turbine à gaz avec production combinée de chaleur et d'électricité

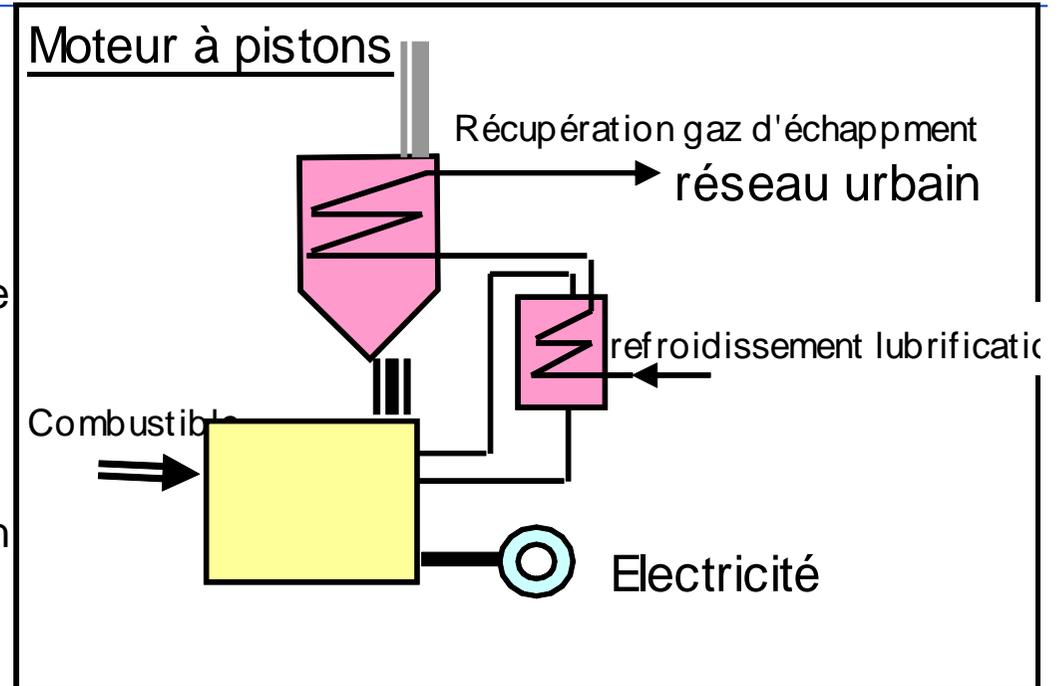
Le moteur fonctionne comme un énorme moteur de voiture.

La combustion de l'air au moyen de fioul entraîne le moteur pour produire une puissance mécanique qui sera transformée en électricité dans le générateur.

La chaleur peut être récupérée en deux points:

Le refroidissement de l'huile de lubrification
Le refroidissement des gaz d'échappement.

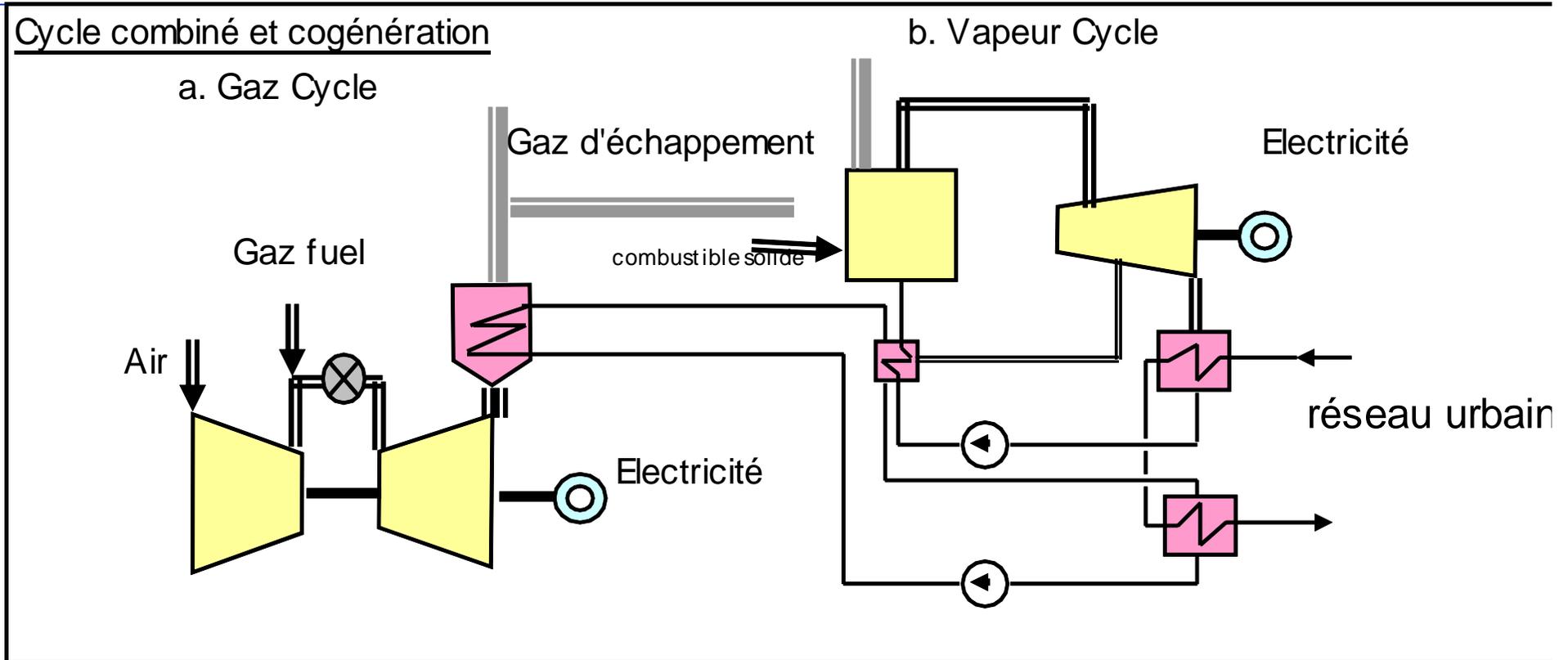
Les avantages d'un moteur de cogénération sont l'efficacité à peu près constante et le rapport puissance-chaleur sur la plage de capacité de l'ensemble, mais il exige beaucoup d'entretien.



Source: Equipe du projet UP-RES/Aalto University

2. La transformation de l'énergie

2.6. Centrale combinée à vapeur et cycle de gaz avec cogénération (1)



Une grande centrale combinée intègre la vapeur et les processus de turbines à gaz avec un bon rendement et un bon ratio puissance-production de chaleur.

Source: Equipe du projet UP-RES/Aalto University

2. La transformation de l'énergie

2.6. Centrale combinée à vapeur et cycle de gaz avec cogénération (2)

Dans la diapositive précédente, deux types de carburants sont combinés: gaz et combustible solide, ce qui assure un fonctionnement souple.

La partie du combustible solide peut être une ancienne centrale, avec laquelle on peut intégrer une nouvelle turbine à gaz. De cette manière, la combinaison produira plus d'électricité que la turbine à gaz et l'usine de combustible solide individuellement. La synergie de la combinaison de ces deux processus augmente la production d'électricité d'environ 5% en augmentant le rendement global.

La centrale à cycle combiné peut aussi être construite en combinant 1 ou 2 grosses turbines à gaz en parallèle à une petite turbine à vapeur.

Source: Equipe du projet UP-RES/Aalto University

2. La transformation de l'énergie

2.7. Comparaison de cogénération

Rendement et ratios puissance/production de chaleur de plusieurs types de cogénération et d'une chaudière à gaz.

Les turbines à gaz et les moteurs peuvent être petits, de 2 à 60 MW, mais la multiplication peut créer de grandes centrales électriques.

Une centrale à cycle combiné comporte habituellement au moins deux turbines à gaz et une turbine à vapeur avec une capacité de plus de 100 MW.

Les centrales électriques à combustibles solides sont aussi optimisées suivant l'échelle et les grandes sont plus rentables que les petites.

Type		Rendement total	Ratio puissance/prod
Combustible solide	petit	85 %	0,4
	gros	88 %	0,6
Turbine à gaz		91 %	0,4
Moteur à Piston		89 %	1,0
Cycle Combiné		94 %	1,1
Chaudière gaz		95 %	

Source: Equipe du projet UP-RES/Aalto University

2. La transformation de l'énergie

2.8. Pompes à chaleur

Pompes à chaleur avec compresseur

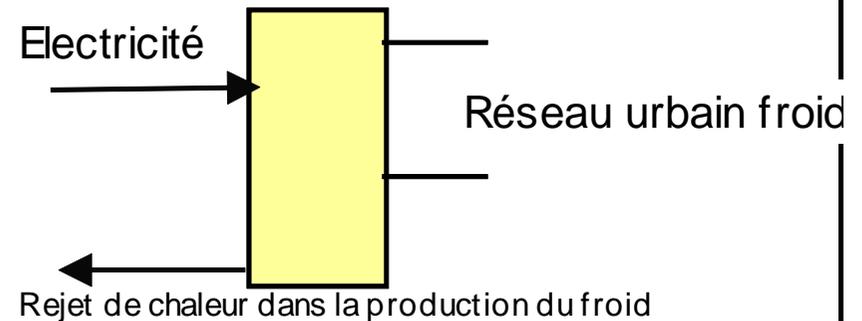
a) Chauffage:

Les pompes à chaleur produisent 3-4 unités de **chaleur** avec 1 unité d'énergie électrique.

Leur "coefficient de performance (COP)" est donc 3-4.

La source à partir de laquelle la chaleur est pompée (par le compresseur) vers une température plus élevée peut être l'air environnant, l'eau souterraine, des eaux résiduelles, etc

Pompe à chaleur/réfrigérateur



b) Refroidissement:

Les pompes à chaleur peuvent produire de l'eau et de l'air froid tout comme un réfrigérateur domestique.

Dans la production de froid, la chaleur résiduelle peut être soit ventilée par cheminée ou soit utilisée dans le réseau de chauffage urbain.

Source: Equipe du projet UP-RES/Aalto University

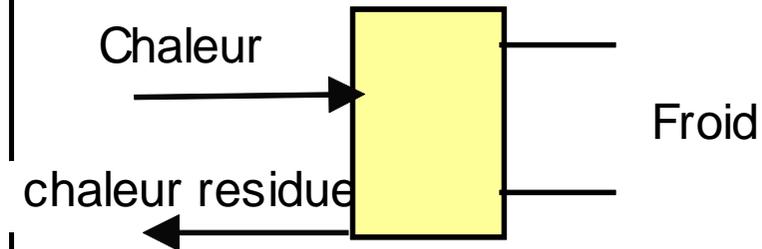
2. La transformation de l'énergie

2.8. Pompes à chaleur

Pompe à chaleur d'absorption

- Le refroidisseur à absorption est une pompe à chaleur chimique qui utilise la chaleur comme force motrice à la place de l'électricité.
- Système relativement coûteux, mais qui permet d'utiliser la chaleur du réseau urbain (la chaleur résiduelle en été) pour assurer le refroidissement des bâtiments.
- La chaleur résiduelle est dégagée par cheminée si elle n'est pas utilisable en été.

Refroidissement à absorption



Source: www.wikipedia.org

2. La transformation de l'énergie

2.9. Solaire

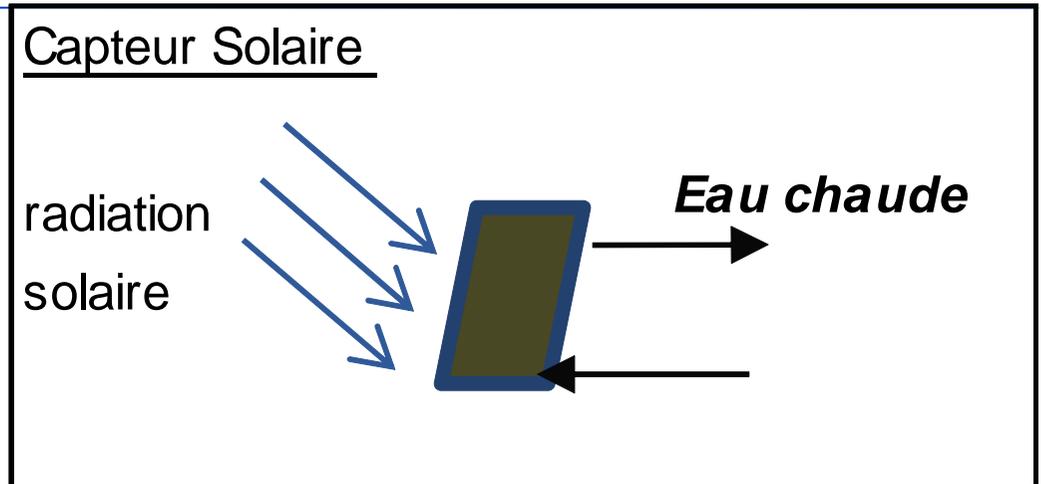
Capteur solaire thermique

Le capteur solaire convertit le rayonnement solaire pour chauffer l'eau.

En été, trop de rayonnement risque de surchauffer le capteur.

Durant les autres saisons il y a moins de rayonnement solaire et l'angle d'inclinaison par rapport au soleil doit être plus l'optimum qu'en été.

Par conséquent, les capteurs sont inclinés généralement plus près de la verticale que de l'horizontale.



Source: www.wikipedia.org

2. La transformation de l'énergie

2.9. Solar

Panneaux solaires photovoltaïques – production d'électricité

Les panneaux photovoltaïques transforment le rayonnement solaire en énergie électrique.

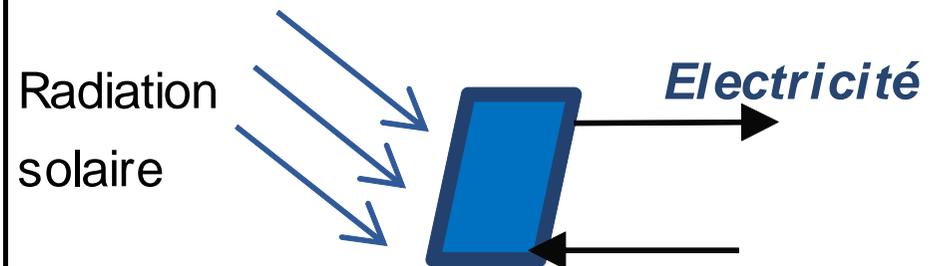
En été, trop de rayonnement risque de surchauffer le panneau.

Durant les autres saisons il y a moins de rayonnement solaire et l'angle d'inclinaison par rapport au soleil doit être plus l'optimum qu'en été.

Par conséquent, les panneaux sont inclinés généralement plus près de la verticale que de l'horizontale

Source: www.wikipedia.org

panneaux solaires photovoltaïques



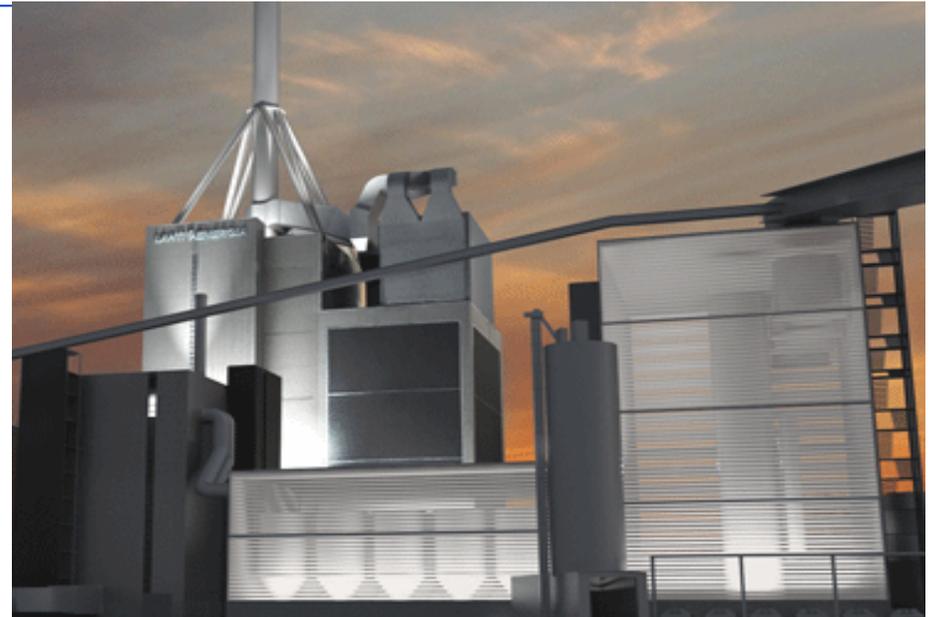
2. La transformation de l'énergie

2.10. Energie à partir des résidus (1/2)

Avantages:

- Réduction des surfaces de stockage ou d'enfouissement des déchets
- Remplacement des combustibles fossiles par des substituts et peut être complété par des apports de carburant import
- Création d'emplois dans la logistique des carburants
- Réduction des émissions de CO2
- Réduction de toutes les autres émissions grâce au système de nettoyage des gaz de combustion sophistiqué (et coûteux)
- Amélioration de la sécurité énergétique nationale et locale
- Pratiquement pas de coûts d'achat de carburant, mais frais de collecte des résidus
- Revenus de la vente de chaleur et d'électricité.

Source: www.lahtienergia.fi



- Une grande et moderne usine de cogénération par gazéification des déchets municipaux mis en service en 2012 dans la ville de Lahti, en Finlande afin de produire 50 MW d'électricité et 90 MW de chauffage urbain à partir de 250.000 tonnes de déchets par an
- Centrale à lit fluidisé circulant

2. La transformation de l'énergie

2.10. Energie à partir des résidus (2/2)

Exigences:

- Coût d'investissement élevé d'environ 200 000 000 € pour une capacité d'incinération de 300.000 tonnes de déchets
- Échelle de rentabilité: pour une centrale relativement importante, à partir de 200.000 tonnes de déchets environ
- La capacité de production de chaleur de la centrale ne doit pas dépasser 60% de la demande de pointe du chauffage urbain et des industries qu'elle dessert.



- La nouvelle usine de cogénération par gazéification des déchets municipaux et l'usine existante de cogénération en fonctionnement à Lahti, en Finlande.

Source: www.lahtienergia.fi

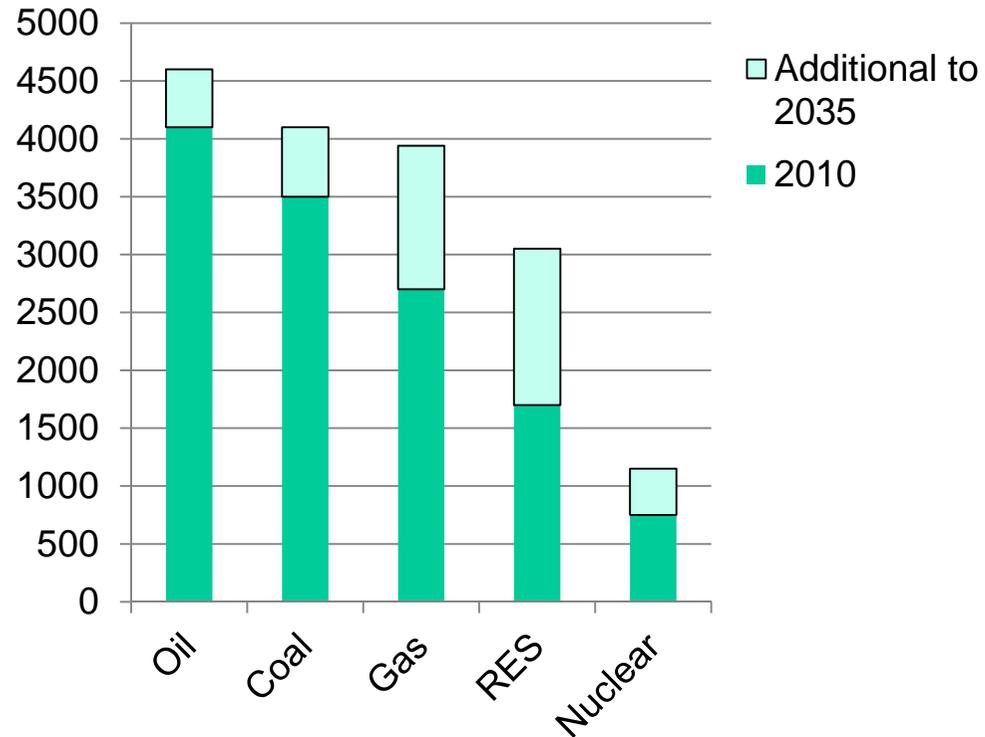
3. Les perspectives du marché de l'énergie

3.1. Demande d'énergie primaire (Mtoe)

Le pétrole et le charbon restent les plus utilisés, mais:

Le recours au gaz naturel et aux énergies renouvelables augmente.

Le gaz naturel et les énergies renouvelables constituent les 2/3 des nouvelles demandes pour 2010-2035.



Oil = pétrole
Coal = charbon
RES = énergies renouvelables

Mtoe: million ton of oil equivalent

Source:

International Energy Agency – World Energy Outlook 2011 - Presentation to Press, Nov 2011, www.iea.org

3. Les perspectives du marché de l'énergie

3.2. Réserves de pétrole

- Réserves de pétrole en Europe: Russie, Norvège, Royaume-Uni
- Les réserves de schiste sont énormes, en Amérique du Nord en particulier, mais leur extraction requiert des produits chimiques nocifs pour l'environnement

Continent	Pétrole		Schiste bitumineux	
Afrique	17 719	11 %	23 317	3 %
Europe	12 519	8 %	52 845	8 %
Amérique du nord	8 275	5 %	539 123	78 %
Amerique du sud	16 762	10 %	11 794	2 %
Asie	9 382	6 %	51 872	8 %
Moyen orient	98 093	60 %	5 792	1 %
Océanie	284	0 %	4 534	1 %
Total	163 034	100 %	689 277	100 %

Source:

International Energy Agency – World Energy Outlook 2011 - Presentation to Press, Nov 2011, www.iea.org

3. Les perspectives du marché de l'énergie

3.3. Réserves de gaz naturel

- Les principales réserves de gaz en Europe sont principalement en Russie, mais aussi en Norvège et au Royaume-Uni

Continent	Natural gas	
Afrique	14 613	8 %
Europe	50 095	27 %
Amérique du nord	9 688	5 %
Amerique du sud	6 851	4 %
Asie	27 322	15 %
Moyen orient	75 668	41 %
Océanie	1 307	1 %
Total	185 544	100 %

Source:

International Energy Agency – World Energy Outlook 2011 - Presentation to Press, Nov 2011, www.iea.org

3. Les perspectives du marché de l'énergie

3.4. Conclusion

- Il y a encore des réserves de pétrole,
- Mais la préhistoire n'a pas épuisé toutes les réserves de pierre !

Le Consortium UP-RES

Contact pour ce module: **Aalto University**



- **Finlande : Aalto University School of science and technology**
www.aalto.fi/en/school/technology/



- **Espagne : SaAS Sabaté associats Arquitectura i Sostenibilitat**
www.saas.cat



- **Royaume Uni: BRE Building Research Establishment Ltd.**
www.bre.co.uk



- **Allemagne :**
AGFW - German Association for Heating, Cooling, CHP
www.agfw.de



UA - Universität Augsburg www.uni-augsburg.de/en



TUM - Technische Universität München <http://portal.mytum.de>



- **Hongrie : UD University Debrecen**
www.unideb.hu/portal/en