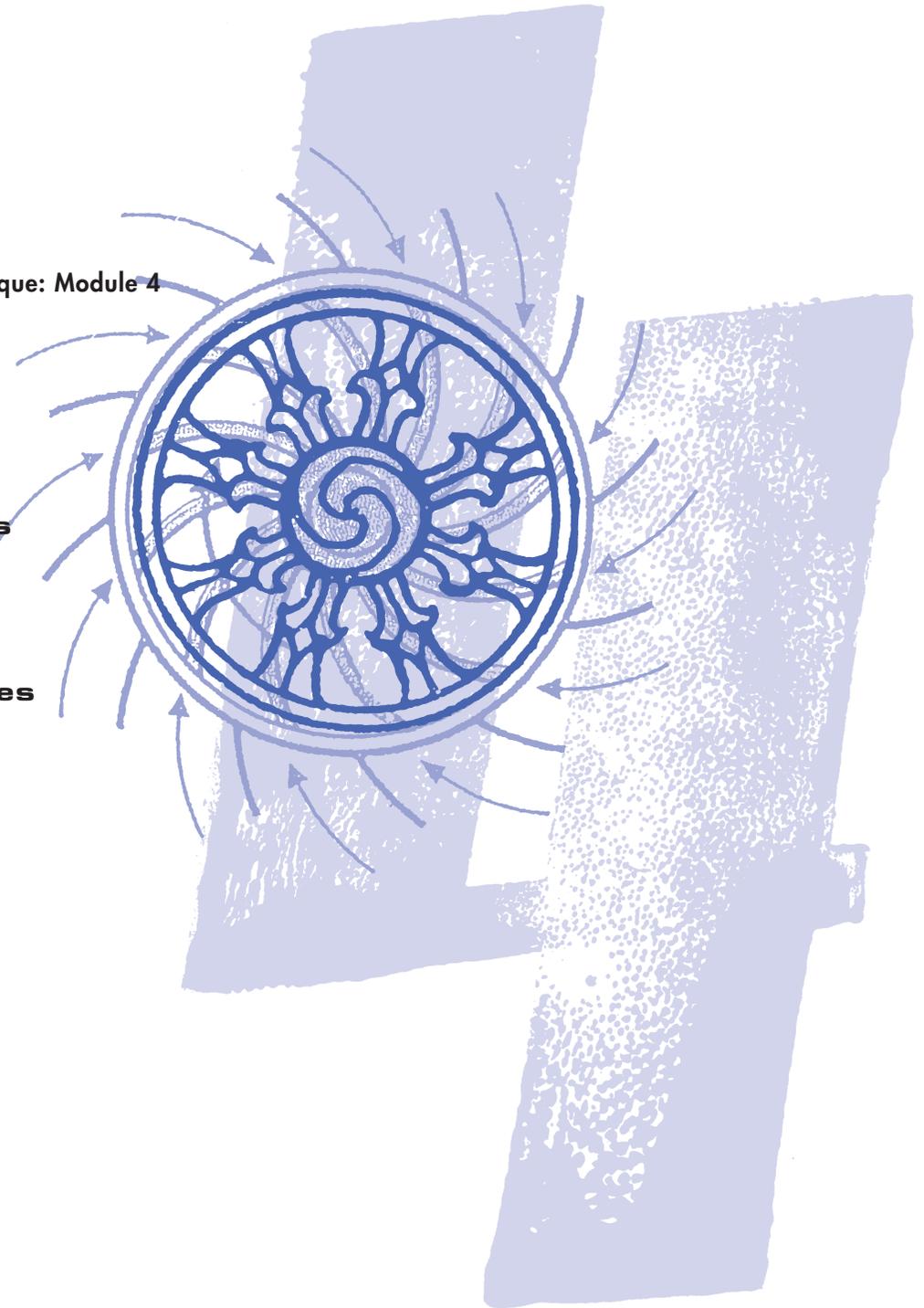


Les engins thermiques

L'énergie dans l'enseignement professionnel

Modules pour les professions techniques, de l'électricité et de l'informatique: Module 4

- 1 Introduction: de quoi s'agit-il?**
- 2 Objectifs de la formation**
- 3 Eléments proposés pour le plan des leçons**
- 4 Connaissances de base**
 - Les bases
 - Les centrales thermiques conventionnelles
 - Le couplage chaleur-force
 - La cellule à combustible
- 5 Exercices et solutions proposées**
- 6 Bibliographie**
- 7 Sources**
- 8 Modèles**



1 Introduction: de quoi s'agit-il ?

La génération d'énergie électrique par les centrales ordinaires se heurte à des barrières techniques, politiques et économiques: la force hydraulique qui génère en Suisse 60% de toute l'électricité est largement utilisée; le potentiel restant à ce jour est minime. Les autres 40% proviennent des centrales nucléaires. Celles-ci sont très controversées, en particulier au niveau des risques de grandes catastrophes (comme celle de la centrale atomique de Tchernobyl) avec leurs conséquences quasi imprévisibles, ainsi que du traitement des déchets nucléaires produits par les centrales. Tout aussi problématique est la rentabilité des centrales atomiques dans le contexte d'un marché libéralisé de l'électricité. Au vu des quelques points évoqués on peut aujourd'hui supposer qu'il ne sera plus guère possible de remplacer les centrales existantes et encore moins d'en construire de nouvelles.

Si l'on part de l'hypothèse que les centrales nucléaires existantes seront désactivées, il y aura un manque dans la production d'énergie électrique. Celui-ci pourra être couvert de la manière suivante:

- réduction de la consommation d'électricité par le biais de technologies plus efficaces (éclairage, aération, réfrigération, chauffage, appareils électriques, etc.)
- réduction de la consommation d'électricité par la modification du comportement des consommateurs, en rendant plus consciente l'utilisation de cette forme d'énergie de haute valence qu'est «l'électricité»
- production d'électricité à partir d'énergies renouvelables (petites centrales hydrauliques, vent, technique photovoltaïque, etc.)
- production d'électricité par exploitation rationnelle des supports énergétiques non renouvelables (surtout le gaz naturel et le mazout) dans des installations à couplage énergie chaleur.

Ce sont avant tout des engins thermiques comme les turbines à vapeur, les turbines à gaz et les moteurs à combustion interne qui sont actuellement utilisés dans la production d'électricité à couplage énergie chaleur. Mais à l'avenir les cellules à combustible pour la production électrochimique directe d'électricité joueront possiblement un rôle prépondérant.



2 Objectifs de la formation

L'apprentie, l'apprenti ...

- connaît les différents modes de production électrique ainsi que les problématiques économiques, environnementales et politiques de celle-ci à partir de supports énergétiques non renouvelables (gaz, pétrole, charbon, uranium).

Exemples de réponses:

Centrale nucléaire:

- Production de vapeur dans le réacteur nucléaire, entraînant une turbine à vapeur elle-même couplée avec un générateur de production d'électricité. Degré d'efficacité env. 30%.
- Exploitation de la chaleur perdue difficile et coûteuse, car nécessitant de grands réseaux thermiques.
- Résistance politique à cause de la radioactivité et des risques très élevés en cas de catastrophe majeure (CM).
- Stockage final des déchets radioactifs non résolu
- Dans le marché libéralisé de l'électricité de nouvelles centrales ne sont pas rentables.

Centrale thermique conventionnelle

(charbon, mazout ou gaz; sans exploitation de la chaleur dégagée):

- Production de la vapeur dans une chaudière à vapeur, entraînant une turbine à vapeur elle-même couplée avec un générateur de production d'électricité. Rendement env. 40%.
- Forte et inévitable émission de CO_2 de par la combustion de combustibles fossiles.
- Emissions toxiques (SO_2 , NO_x et C_xH_y) réductibles moyennant un grand déploiement de technique.

**Centrale mixte**

(mazout ou gaz, sans exploitation de la chaleur dégagée):

- Production d'énergie mécanique par la combinaison d'une turbine à gaz avec une turbine à vapeur; rendement env. 60%.
- Forte et inévitable émission de CO₂ de par la combustion de combustibles fossiles.
- Émissions toxiques (CO, NO_x et C_xH_y) réducibles moyennant un grand déploiement de technique.

Bloc central thermique (mazout ou gaz):

- Production d'énergie mécanique avec une turbine à gaz ou un moteur à combustion interne.
- Exploitation de la chaleur dégagée produite.
- Rendement électrique jusqu'à env. 40%; rendement thermique jusqu'à env. 60%; rendement général jusqu'à env. 95%.
- Employé pour les grands bâtiments et les systèmes à combinaison thermique.
- Rentable lorsque les conditions cadre sont bonnes.

Bloc central thermique avec moteur Stirling:

- Presque n'importe quelle source de chaleur est possible, même les renouvelables (bois, soleil) grâce à la combustion externe.
- Seules des installations pilote sont aujourd'hui en activité.



- sait ce qu'il faut entendre par production d'électricité décentralisée et quels en sont les avantages et les inconvénients.
 - peut expliquer la raison pour laquelle les rendements mécanique et électrique de la production thermique d'électricité sont physiquement limités.
 - connaît les conditions principales à remplir pour la réalisation d'une installation à couplage chaleur-force.
- Cellules à combustible** (pétrole ou gaz):
- Production d'énergie électrique par un processus électrochimique et non pas thermodynamique. Exploitation de la chaleur perdue produite.
 - Rendement électrique jusqu'à env. 60%; rendement général jusqu'à plus de 95%.
 - Pas d'émissions de bruit et pratiquement pas d'émissions toxiques (sauf CO₂).
 - Emploi possible pour pratiquement tous les types de prestations.
 - Actuellement seules des installations pilote sont en activité; large introduction sur le marché attendue à partir de 2005.
- Production de l'électricité proche des utilisateurs.
 - Avantages: pas de pertes de transmission; conduisent par un grand nombre d'installations à une importante sécurité d'alimentation.
 - Inconvénients: prix de revient plutôt élevé; problèmes de stabilité du réseau si trop grand nombre d'installations dans un petit espace.
- Rendement de Carnot: le rendement dépend essentiellement de la différence de température entre source de chaleur et chaleur perdue.
 - Besoins élevés en chaleur, presque simultanés aux besoins en électricité.
 - Tarifs élevés d'accès à l'électricité (et éventuellement de renvoi des surplus).
 - Besoins élevés en électricité.

- connaît les tendances futures du couplage chaleur-force.
- Utilisation du moteur couplage chaleur-force dans des installations de réseaux de chaleur existants et grandes productions de chaleur.
- Cellules à combustible; avant tout pour le gaz et le mazout.
- Moteur Stirling; permettant d'utiliser toutes sortes de combustibles.



3 Eléments proposés pour le plan des leçons

- Excursion dans une centrale. Numéros de téléphone:
 - Centrale atomique Gösgen-Däniken AG:
pavillon des visiteurs 155 15 56
 - Centrale atomique Leibstadt AG:
056 267 71 11

- Excursion dans une centrale importante avec bloc central thermique:
Informations générales:
 - WKK
WKK- Fachverband, case postale
8050 Zurich
Tél. 01 311 80 20
Fax 01 312 05 40
www.waermekraftkopplung.ch

- Exploitants de blocs centraux thermiques:**
 - Nordouest-Suisse:
 - Elektra Birseck Münchenstein (EBM)
4142 Münchenstein
Tél. 061 415 41 41
 - Arbeitsgemeinschaft für dezentrale
Energieversorgung (ADEV)
Oristalstrasse 85, 4410 Liestal,
Tél. 061 921 94 50

- Vidéo sur l'alimentation décentralisée en électricité et le couplage chaleur-force (à commander auprès de l'association WKK, Zurich)

- Concernant le type et les caractéristiques des centrales: Brainstorming directif avec prise en note des réponses (justes) sur un rétroprojecteur (les apprenti/es devraient déjà disposer de nombreuses informations de par la discussion du jour).

4 Connaissances de base

4.1 Les bases

Que sont les engins thermiques?

Les engins thermiques sont des installations qui transposent l'énergie thermique en énergie mécanique. L'énergie thermique est principalement générée par la combustion d'une énergie chimiquement accumulée (pétrole, gaz, charbon, bois, ordures, etc.) ou par fission nucléaire.

Les engins thermiques les plus importants sont:

– les moteurs à combustion interne:

- Moteur Otto: un mélange de combustible (essence ou gaz naturel) et d'air est brûlé sous forme explosive dans une chambre à combustion. L'explosion libère l'énergie mécanique qui est transmise à un vilebrequin. La caractéristique du moteur Otto est que l'allumage du mélange a lieu par le biais d'un dispositif d'allumage (bougie d'allumage).
- Moteur Diesel: son principe de fonctionnement est similaire à celui du moteur Otto. Mais il utilise cependant du carburant Diesel. La caractéristique du moteur Diesel est que le mélange de carburant et d'air est allumé par une forte compression qui le chauffe. C'est pourquoi les moteurs Diesel n'ont pas besoin de dispositif d'allumage.

Les moteurs à combustion interne comprennent un ou plusieurs cylindres dans lesquels la combustion a lieu. Selon le type de construction du moteur la combustion peut se produire à chaque mouvement (course) du piston (moteurs à deux temps),

ou à chaque deuxième course du piston (moteur à quatre temps). Dans un moteur à quatre temps, chaque seconde course sert à expulser les gaz d'échappement formés et à remplir le cylindre de mélange.

– Les turbines à gaz:

Dans une turbine à gaz la combustion d'un mélange de carburant (gaz naturel, mazout ou kérosène) et d'air est continue. Les gaz brûlants et à forte dilatation issus de la combustion entraînent les aubes de la turbine qui transmettent l'énergie cinétique à l'arbre.

– Les moteurs à vapeur:

La vapeur produite dans une chaudière à vapeur entraîne un piston tout en se dilatant (se détendant). L'énergie cinétique linéaire ainsi créée est transformée en énergie rotative au moyen d'une tige. Un moteur à vapeur peut avoir un ou plusieurs cylindres.

– Les turbines à vapeur:

Par rapport au moteur à vapeur, la vapeur est continuellement dilatée entre les aubes en rotation de la turbine, lesquelles transmettent l'énergie cinétique à l'arbre.

Où utilise-t-on les engins thermiques?

Moteurs à combustion interne:

- véhicules: voitures, camions, motos (moteurs Otto et Diesel)
- avions à hélices (moteurs Otto)
- Navires (moteurs Diesel) et bateaux (moteurs Otto)
- Générateurs électriques dans les installations à couplage chaleur-force (moteurs Otto et Diesel), dans les groupes électrogènes ainsi que pour les réseaux de taille réduite sur des îles ou bien dans des régions isolées (moteurs Diesel).
- Engins de constructions et tracteurs (presque toujours moteurs Diesel)
- Outils tels que scies à moteur ou tondeuses à gazon (moteurs Otto).

Turbines à gaz:

- moteurs d'avion (à réaction, à turbopropulseur) et moteurs d'hélicoptères (kérosène)
- centrales à turbines à gaz et centrales mixtes (gaz naturel et/ou pétrole)
- générateurs électriques dans les grandes installations à couplage énergie chaleur et dans les gros groupes électrogènes (gaz naturel et/ou mazout).

Moteurs à vapeur:

- locomotives et bateaux à vapeur
- générateurs électriques dans les petites installations à couplage énergie chaleur utilisant du bois ou de la biomasse comme combustibles (ces installations ne sont réalisées qu'à l'étranger).
- machines à vapeur «jouets».

Turbines à vapeur:

- grandes centrales (centrales nucléaires ou centrales thermiques)
- centrales mixtes; en combinaison avec des turbines à gaz (gaz naturel et/ou pétrole)
- générateurs électriques dans installations à couplage énergie chaleur utilisant des ordures, du bois ou de la biomasse comme combustibles.

Degré d'efficacité, rendement des engins thermiques

Les engins thermiques sont des installations visant à transformer l'énergie. C'est pourquoi les deux axiomes de la thermodynamique s'appliquent à eux. Le premier axiome stipule que l'énergie ne peut jamais être produite, ni anéantie, dans un engin thermique (en tant que système thermodynamique fermé). L'énergie est seulement transformée d'une forme (par exemple un combustible) en une autre (par exemple en électricité et chaleur).

Il découle du second axiome de la thermodynamique que le degré d'efficacité (mécanique) d'un engin thermique (rapport entre performance mécanique et combustible utilisé) est limité. Ce degré d'efficacité (rendement de Carnot) dépend de la différence entre la température du processus de combustion et la température de la chaleur perdue. Le degré maximal d'efficacité thermique du processus circulaire de Carnot d'un moteur thermique est déterminé par les deux températures limites entre lesquelles se déroule le processus:

$$\eta_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

η_c = rendement de Carnot [-]
 T_1 = température la plus élevée [K]
 (correspond à la température de combustion)
 T_2 = température la plus basse [K]
 (correspond à la température de la chaleur dégagée)

Dans les engins thermiques pour couplage chaleur-force, l'énergie mécanique est transformée dans un générateur en énergie électrique (électricité). Si, en plus de l'énergie électrique on peut aussi exploiter l'énergie thermique (chaleur dégagée), on parle

- généralement d'un rendement électrique et thermique (partiel), ainsi que d'un rendement général:
- rendement électrique = production d'électricité / emploi de combustible
 - rendement thermique = production de chaleur / emploi de combustible
 - rendement général = (prod. d'élec. + prod. de chaleur) / emploi de combustible

Les valeurs typiques des engins thermiques fréquemment utilisés en couplage chaleur-force sont:

Type de machine	rendement él.	rendement th.	rendement général
Centrale de chauffage avec turbine à vapeur	0,35	0,50	0,85
Centrale mixte avec turbines à gaz et à vapeur	0,50 à 0,60	0,25 à 0,35	0,85 à 0,90
Bloc central thermique avec turbine à gaz	0,30	0,55	0,85
Bloc central thermique avec moteur à gaz	0,35 à 0,40	0,50 à 0,60	0,85 à 0,98
Bloc central thermique avec moteur Diesel	0,45	0,35 à 0,45	0,85 à 0,90

Le rendement thermique est surtout dépendant du niveau de température de l'exploitation de la chaleur: un niveau de température bas permet d'obtenir un degré d'efficacité plus élevé.

Exploitation de la chaleur dégagée des engins thermiques

La chaleur dégagée des engins thermiques stationnaires utilisés pour la production d'électricité peut être exploitée pour chauffer ou pour activer des processus thermiques. Exemples:

- La chaleur dégagée d'un incinérateur à ordures (avec turbine à vapeur) alimente un réseau de chaleur à distance.
- Une turbine à gaz dans une fabrique de papier produit de l'énergie électrique ainsi que de la vapeur pour le processus de production du papier (exemple: Papeterie de Versoix SA, Genève).
- Deux blocs centraux thermiques avec moteurs à gaz produisent de la chaleur et de l'électricité pour un hôpital. Ces moteurs sont par ailleurs équipés pour faire fonctionner un groupe électrogène en cas de panne de réseau (exemple: hôpital cantonal d'Obwalden, Sarnen).
- Un bloc central thermique avec moteur à gaz produit de la chaleur et de l'électricité pour les bâtiments d'une grande école (Hochschule für Technik und Architektur, Horw LU).

Le transport de chaleur exige une grande infrastructure et coûte donc cher (un mètre de tracé peut coûter entre 600 et 3000 francs selon les conditions-cadre et la capacité). Le coût élevé de la distribution de chaleur est la raison principale pour laquelle la chaleur perdue des grandes centrales thermiques (surtout les centrales nucléaires) ne peut pas être

exploitée de façon rentable. Du point de vue d'une exploitation optimale de l'énergie les installations de taille plus réduite (du type de celles évoquées dans les exemples ci-dessus) sont plus judicieuses, car elles peuvent être montées à proximité des zones d'habitation et exploiter la chaleur perdue.

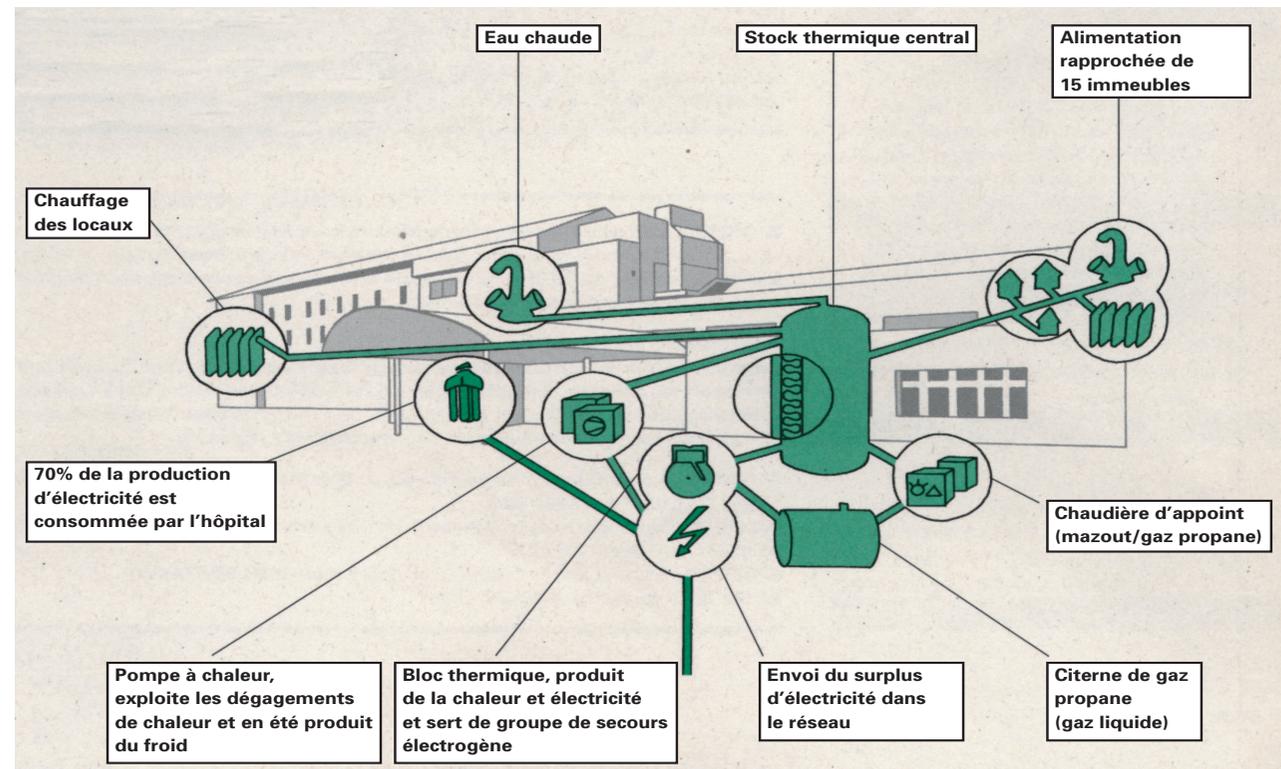


Fig. 1: Système thermique de l'hôpital cantonal d'Obwalden, Sarnen



Production électrique centrale ou décentralisée

L'alimentation électrique actuelle repose avant tout sur les grandes centrales (énergie hydraulique et énergie nucléaire). C'est pourquoi elle doit supporter des pertes de transmission relativement élevées (dans une fourchette de 5 à 10%).

Les petites et moyennes installations d'alimentation électrique (outre les engins thermiques comme les blocs centraux thermiques il y a encore les petites centrales hydrauliques, les éoliennes, les installations photovoltaïques) décentralisent l'alimentation en électricité. Une alimentation décentralisée se caractérise de la manière suivante:

- comme la production de l'électricité est proche des utilisateurs, les pertes de transmission (dues aux conduites d'alimentation et aux transformateurs) sont minimisées;
- une multiplicité d'installations modestes augmente la sécurité d'alimentation car la panne de l'une d'entre elles n'agit pas sur l'ensemble de l'alimentation électrique;
- les petites installations ne font presque jamais l'objet d'une controverse politique et peuvent donc être construites rapidement;
- la stabilité du réseau (fréquence et tension) est garantie par les grandes centrales synchronisées au niveau international

Conséquences écologiques du fonctionnement des engins thermiques

Afin de minimiser les conséquences écologiques on doit s'efforcer d'atteindre, pour tous les engins thermiques, un degré d'efficacité général élevé ainsi qu'une exploitation aussi complète que possible de la chaleur dégagée.

Lors de la combustion des combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon) dans les moteurs à combustion interne et les chaudières à vapeur des centrales, du CO_2 se forme à partir du carbone contenu dans les matériaux. Comme il faut une température de combustion élevée pour obtenir un degré d'efficacité élevé (voir rendement de Carnot), des oxydes d'azote se forment en quantité considérable. Mais si l'on peut réduire les émissions d'oxydes d'azote avec des catalyseurs (dans les voitures ou les centrales), le CO_2 une fois formé n'est plus réductible par des moyens techniques.

Lors de l'exploitation des centrales nucléaires des émissions radioactives se forment et il faut gérer les déchets nucléaires.

Nous vous renvoyons au manuel de base «L'énergie – facteur-clé de notre temps» au sujet des conséquences écologiques.

4.2 Les centrales thermiques conventionnelles

Avec les centrales thermiques conventionnelles la production centrale d'électricité occupe le devant de la scène. Ces centrales sont construites pour fournir une très grande capacité électrique (plus de 300 MW_e); souvent plusieurs blocs sont montés sur la même aire. La chaleur dégagée n'est pratiquement pas exploitée parce que ces grandes centrales sont construites loin des zones à forte densité de population (à cause de la place nécessaire et des émissions) et que la répartition de chaleur n'est pas rentable.

Mode de fonctionnement

Dans les centrales thermiques conventionnelles de la vapeur d'eau entraîne une turbine à vapeur entraînant à son tour un générateur électrique. Selon le type de centrale la vapeur est générée dans un réacteur nucléaire ou bien une chaudière vapeur avec un foyer à mazout, à gaz ou à charbon. Pour obtenir un rendement élevé (Carnot) la température de la vapeur (et donc la pression de la vapeur) doit être aussi haute que possible.

Pour pouvoir évacuer la très grande quantité de chaleur dégagée on construit (surtout dans les centrales atomiques) des tours de refroidissement caractéristiques. La chaleur dégagée fait évaporer de très grandes quantités d'eau, ce qui conduit à une basse température de la chaleur et donc à un rendement de Carnot élevé.

Rentabilité

Les coûts afférents à l'électricité produite («coûts de génération de courant») se composent pour toutes les centrales de frais financiers (paiement des intérêts et amortissement du capital investi), ainsi que de frais courants pour le combustible et l'exploitation en elle-même. Pour les centrales nucléaires, qui doivent faire de très gros investissements à cause des risques extrêmes dans le maniement du combustible nucléaire, la majeure partie des coûts de génération du courant est composée de frais financiers, alors que pour les centrales à mazout, à gaz ou à charbon (comparativement bon marché), une grande part de ces coûts de génération est attribuée à la consommation de combustible et aux mesures prises pour réduire les émissions toxiques. Les centrales plus anciennes présentant des standards inférieurs de sécurité et de protection de l'environnement affichent quant à elles un coût de génération de courant bas.

Les centrales mixtes (mazout ou gaz)

La centrale mixte est une centrale thermique possédant un rendement particulièrement élevé: la vapeur nécessaire au fonctionnement de la turbine à vapeur est générée par la chaleur dégagée d'une turbine à gaz (dans une chaudière de récupération). La turbine à gaz peut fonctionner avec du gaz ou du mazout.

La combinaison des turbines à gaz et à vapeur permet d'atteindre un rendement allant jusqu'à 60%. Comme le prix des combustibles constitue une grande part des coûts pour les centrales à énergie fossile, la centrale mixte a tendance à être plus rentable qu'une centrale sans turbine à gaz.

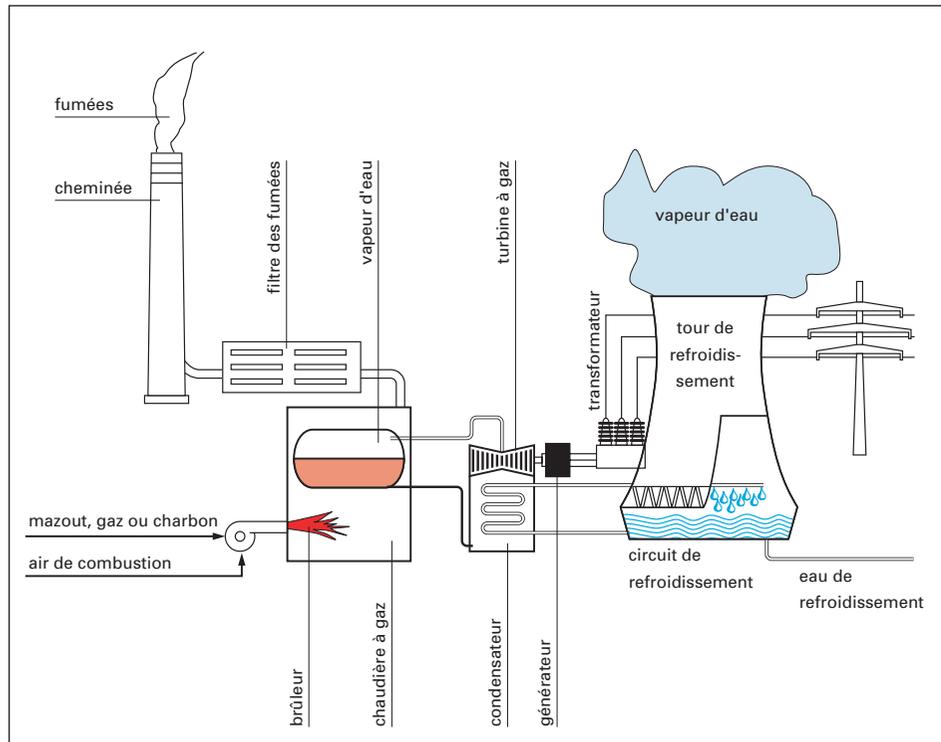


Fig. 2: Centrale thermique conventionnelle

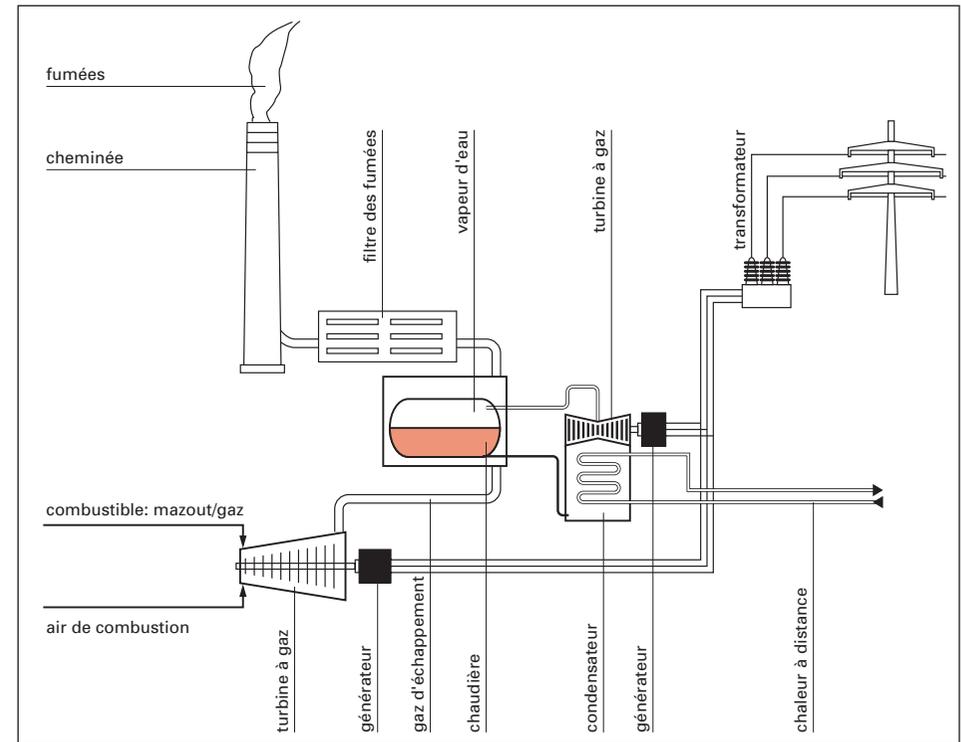


Fig. 3: Centrale mixte

4.3 Le couplage chaleur-force

Le couplage chaleur-force (abréviation CCF) implique une production combinée à la fois de chaleur (pour le chauffage et les procédés chimiques) et de force motrice, le plus souvent pour la production d'électricité. Un **bloc central thermique** (BCT) est un modèle compact de module de couplage chaleur-force, principalement employé dans une fourchette de capacité allant jusqu'à 1 MW et avec des moteurs à combustion interne, et de 1 à 10 MW et avec des turbines à gaz.

Les blocs centraux thermiques avec moteur à gaz
On utilise des **moteurs à gaz industriels** comme mécanisme d'entraînement pour les BCT à moteur à gaz. Les moteurs dont on dispose ont une puissance de 20 à 1000 kW_{el}. Les installations plus importantes se composent de plusieurs modules. Les petits BCT à gaz dont la puissance varie entre 5 et 20 kW et fonctionnent en principe avec des **moteurs de véhicules transformés**. Avec des **BCT standardisés** une exploitation presque entièrement automatique et peu coûteuse est possible.

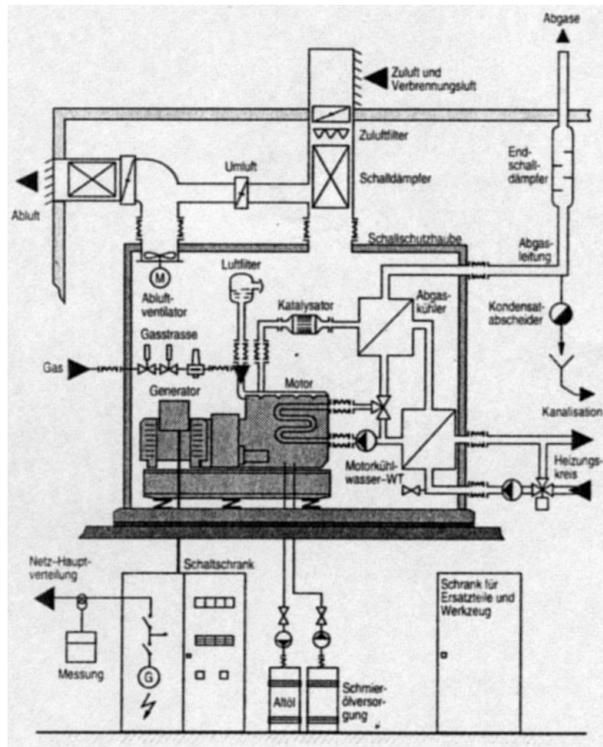


Fig. 4: Schéma de montage d'un BCT avec moteur à gaz.

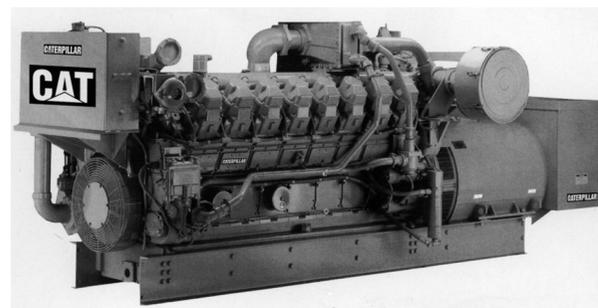


Fig. 5: BCT à moteur à gaz: unité moteur-générateur (gauche moteur, droite générateur).

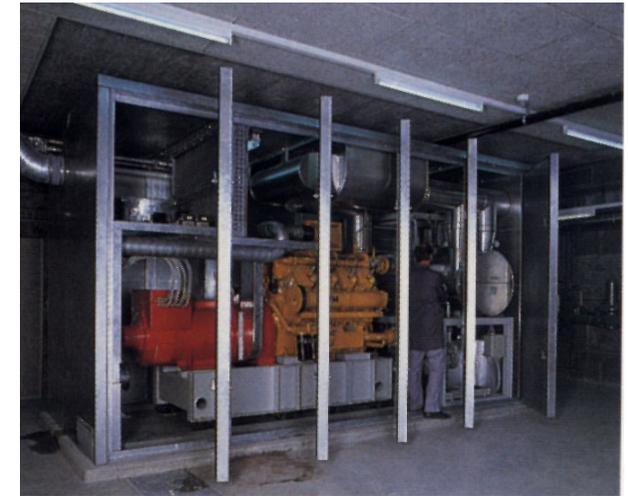


Fig. 6: BCT à moteur à gaz: module complet (avec caisson d'insonorisation démonté) et échangeur de chaleur.



Fig. 7: Centrale de production d'énergie de l'hôpital cantonal d'Obwalden avec deux BCT (à gaz Propane).

Les Blocs centraux thermiques avec moteur Diesel

Un BCT à moteur Diesel est construit comme un BCT à moteur à gaz mais s'en distingue par la conception du moteur, le combustible et l'épuration des gaz d'échappement. Le moteur Diesel fonctionne avec de l'essence Diesel (correspondant au mazout EL) ou bien, s'il s'agit d'un moteur dit à réaction, avec un mélange d'essence Diesel (au moins 5%) et de gaz (gaz naturel, gaz liquide, gaz de curage ou issu des décharges).

Les coûts étant élevés (principalement à cause de l'épuration des gaz d'échappement) on monte des BCT à moteur Diesel surtout pour de plus grandes capacités (à partir d'env. 200 kW_e).

Par rapport à un BCT à moteur à gaz le degré d'efficacité électrique est plus élevé. Le degré d'efficacité thermique et donc le degré d'efficacité général dépendent fortement de l'exploitation de la chaleur des gaz d'échappement. Si ces derniers sont refroidis jusqu'à moins de 180 °C dans l'échangeur de chaleur des gaz d'échappement, deux problèmes se posent: d'une part l'acide créé par la condensation de SO₂ attaque le matériau même de l'échangeur de chaleur des gaz d'échappement. D'autre part cet échangeur s'encrasse de par la condensation d'hydrocarbures à ébullition élevée.

Deux procédés sont nécessaires pour l'épuration des gaz d'échappement: dénitrurer les gaz d'échappement avec un catalyseur et filtrer les particules de suie avec un filtre. Avec cette épuration des gaz d'échappement les moteurs Diesel modernes atteignent des valeurs d'émission de NO_x et de CO comparables à celles des moteurs à gaz. Les émissions d'hydrocarbures sont bien plus problématiques parce qu'elles contiennent, entre autres, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) jugés cancérigènes.

Les blocs centraux thermiques à turbines à gaz

Pour le champ d'application industriel ou pour les alimentations thermiques importantes avec des températures supérieures à 120°C les turbines à gaz jouent un rôle prédominant. Du point de vue de la rentabilité leur mise en exploitation n'a cependant un sens que pour une puissance électrique d'au moins 1 MW. Les prescriptions en matière d'émissions toxiques des turbine à gaz requièrent des mesures spéciales.

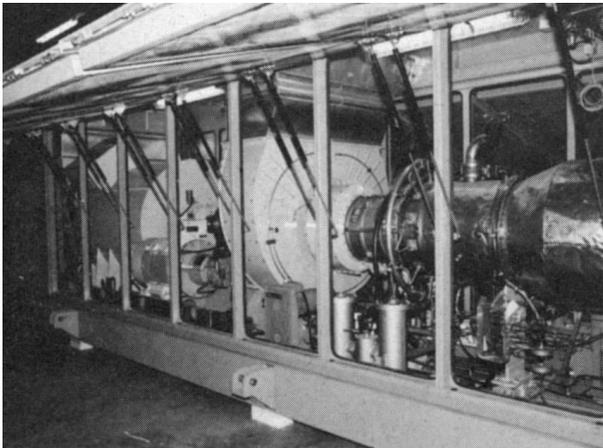


Fig. 8 Bloc central thermique à turbine à gaz: turbine à gaz (droite) et générateur (gauche).

Les blocs centraux thermiques à moteur Stirling

Le moteur Stirling est depuis longtemps une alternative prometteuse au moteur à gaz ou Diesel parce que la combustion ne s'opère pas dans le moteur même mais à l'extérieur. Cela a le grand avantage qu'on peut utiliser pratiquement n'importe quel combustible, par exemple du bois, et même de l'énergie solaire. Divers concepts de moteurs fonctionnant avec de l'hélium, de l'hydrogène et de l'air ont été réalisés sous forme d'installation pilote. D'importants problèmes techniques ne sont cependant pas encore résolus et le degré d'efficacité mécanique est encore insatisfaisant.

Conditions cadre pour la mise en service de blocs centraux thermiques

Les blocs centraux thermiques produisent simultanément de la chaleur et de l'électricité. Afin de pouvoir amortir les investissements nécessaires à la construction des blocs centraux thermiques, les conditions cadre suivantes doivent être données:

- Le prélèvement de chaleur devrait autant que possible être régulier, sur une longue période. L'idéal est la chaleur de processus de fabrication, dégagée toute l'année (exemple de la fabrique de papier).
- Il faut atteindre des périodes de fonctionnement longues (on vise 4000 heures d'exploitation totale par année).
- Les tarifs de l'électricité doivent être relativement élevés pour que la production en vaille la peine
- L'électricité produite doit autant que possible être utilisée dans le bâtiment même. La vente des surplus aux entreprises électriques locales est certes possible, mais les tarifs sont presque toujours bas.

Presque tous les cantons prescrivent pour la réalisation des blocs centraux thermiques l'exploitation complète de la chaleur.

4.4 La cellule (pile) à combustible

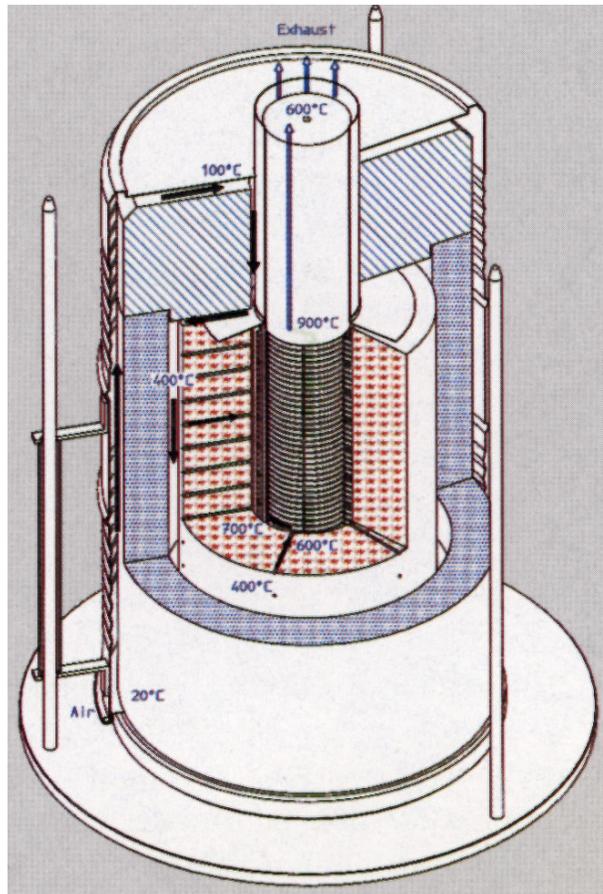


Fig. 9: cellule à combustible à électrolyte solide (exemple: Sulzer Hexis SA).

Dans une cellule à combustible, l'énergie et la chaleur ne sont pas générées dans une machine thermodynamique. L'électricité naît d'un processus électrochimique sous dégagement de chaleur perdue.

Pour le moment trois systèmes de cellule à combustible fonctionnant au gaz naturel sont à l'étude et en développement. Ils se distinguent en particulier par le genre d'électrolyte dans lequel se déroule le processus. Par rapport aux installations CCF avec machines thermodynamiques, tous les types de cellule présentent l'avantage de pouvoir générer de l'électricité sans bruit et pratiquement sans émissions toxiques.

- Cellule à acide phosphorique: pour la production de l'électricité on utilise comme combustible de l'hydrogène qui est extrait du gaz naturel par un processus chimique à un stade antérieur à la cellule (Reformer). Une installation pilote d'une puissance électrique de 200 kW est en fonction depuis 1993 à Genève, et ce avec succès. Le degré d'efficacité électrique se situe aux alentours de 40...43%.
- Cellule à fonte de carbonate: de façon analogue à la cellule à acide phosphorique, il faut d'abord produire de l'hydrogène à base de gaz naturel. Pour le moment ce type de cellule se trouve encore au stade expérimental.
- Cellule à électrolyte solide: on utilise des membranes en polymère ou en céramique comme électrolytes. Le grand avantage de la cellule à membrane en céramique est l'utilisation directe

du gaz naturel comme combustible sans "détour" par l'hydrogène. Un autre avantage c'est que le processus fonctionne sans substance toxiques ou corrosives. Des installations pilote sont déjà en service depuis quelques années.

Conclusion du point de vue de la politique énergétique et perspectives d'avenir

Les cellules à combustible (en particulier celles à électrolyte solide) présentent un potentiel de développement très élevé:

- La production d'électricité se passe pratiquement sans mouvement de pièces et sans usure (contrairement aux engins thermiques, lourds en maintenance).
- La production d'électricité se déroule sans bruit et pratiquement sans substances nocives.
- C'est une technologie applicable à tous les domaines, de l'alimentation électrique des téléphones mobiles jusqu'aux grandes centrales.
- La puissance et la part de la production électrique de la cellule à combustible peuvent varier.
- De même qu'avec la microélectronique, une production de masse (bon marché) est possible sur le plan technique et on peut s'y attendre.

Le type d'application au succès le plus prometteur de la cellule à combustible est un module conçu pour un ménage typique. Cet appareil devrait trouver place dans le «placard à balai» d'un appartement et couvrir les besoins tant en électricité qu'en chaleur.

5 Exercices et solutions proposées

Exercice 1

En groupe, nommez les caractéristiques, avantages et inconvénients des divers types de centrale. Présentez vos résultats en classe.

(Cet exercice peut aussi servir de base d'introduction du sujet).

Exercice 2

Esquissez:

- a) le schéma d'une centrale conventionnelle
- b) le schéma d'une centrale mixte

Nommez les principaux composants et définissez les principales différences en colorant les différents éléments essentiels.

Exercice 3

Réfléchissez pour quelle raison, la chaleur dégagée produite par les grandes centrales n'est pratiquement jamais exploitée. Traiter le sujet avec un exploitant de centrale.

Exercice 4

Nommez les différents moteurs possibles d'un bloc central thermique. Expliquer les raisons pour lesquelles on choisira tel ou tel moteur.

Pour ce faire établissez une table representative avec les caractéristiques et les avantages ou inconvénients.

(Utilisation des connaissances de base, chapitre 4.3, autorisée).

6 Bibliographie

En langue française:

- Programme d'impulsion RAVEL: RAVEL et la chaleur, Electricité et chaleur. Données fondamentales, à commander auprès de l'EDMZ, N°. 724.357 f, Berne, 1993
- Programme d'impulsion RAVEL: RAVEL et la chaleur, Complage chaleur-force, à commander auprès de l'EDMZ, N°. 724.358 f, Berne, 1994
- Maja Messmer et al., adaptation Joël Fournier et Olivier Mercier: L'énergie - facteur-clé de notre temps (manuel de base), LEP, loisirs et pédagogie, Le Mont-sur-Lausanne, 1998
Tél. 021 653 53 37

En langue allemande:

- Schweiz. Fachverband für Wärmekraftkopplung: Wärmekraftkopplung: Die kombinierte Erzeugung von Wärme und Strom, Potenziale, Markt, Innovationen, Zürich 2001
- Schweiz. Fachverband für Wärmekraftkopplung: Wärmekraftkopplung: Die kombinierte Erzeugung von Wärme und Strom, Wirtschaftlichkeit, Politik, Markt, Liestal 1996
- Recknagel Sprenger Hönmann: Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, R. Oldenbourg Verlag GmbH, München 1992
- Wolfgang Suttor: Praxis Kraft-Wärme-Kopplung, Technik, Umfeld, Realisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, C.F. Müller Verlag, Karlsruhe 1993

7 Sources

- Energie 2000: Ausbau Kantonsspital Obwalden, Sarnen, Energien intelligent kombiniert, Bern 1998 (Fig. 1 et 7)
- Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit, Sauerländer AG, Aarau 1997 Band 1: Grundlehrmittel (Fig. 2 et 3)
- Bundesamt für Konjunkturfragen, Wärmekraftkopplung: Gasmotor-Blockheizkraftwerke effizient planen, bauen und betreiben, RAVEL im Wärmesektor Heft 4, Bern 1994 (Fig. 4)
- Schweiz. Fachverband für Wärmekraftkopplung: Wärmekraftkopplung: Die kombinierte Erzeugung von Wärme und Strom, Wirtschaftlichkeit, Politik, Markt, Liestal 1998 (Fig. 5, 6 et 9)
- Bundesamt für Konjunkturfragen, Elektrizität und Wärme, Grundlagen und Zusammenhänge, RAVEL im Wärmesektor Heft 1, Bern 1993 (Fig. 8)

8 Modèles

Type de machine	rendement él.	rendement th.	rendement général
Centrale de chauffage avec turbine à vapeur	0,35	0,50	0,85
Centrale mixte avec turbines à gaz et à vapeur	0,50 à 0,60	0,25 à 0,35	0,85 à 0,90
Bloc central thermique avec turbine à gaz	0,30	0,55	0,85
Bloc central thermique avec moteur à gaz	0,35 à 0,40	0,50 à 0,60	0,85 à 0,98
Bloc central thermique avec moteur Diesel	0,45	0,35 à 0,45	0,85 à 0,90

