

# Concept d'exergie, pompe à chaleur, chauffage électrique

*Cet atelier apporte des informations pouvant être utiles à l'enseignant qui souhaite aborder avec ses élèves des problématiques mettant en jeu des pompes à chaleur ou du chauffage électrique. Dans nombre de cantons suisses dont le canton de Vaud, le chauffage électrique est interdit dans les constructions neuves et un délai est donné aux propriétaires dont les immeubles sont chauffés électriquement pour installer un chauffage qui s'appuie sur les énergies renouvelables. Par ailleurs, des aides financières ont été instaurées pour l'installation des pompes à chaleur.*

*Le document sur la thermodynamique (thermodynamique Exergie Borel) contient une vulgarisation relative au concept d'exergie qui quantifie la **qualité** d'une énergie.*

*Ce document comporte également une page de description de la pompe à chaleur.*

*Il contient aussi une analyse de publicités pour des radiateurs électriques. L'une de ces publicités a fait l'objet d'une critique dans une émission "A bon entendeur" (ABE) de la RTS (TSR à l'époque). Le dossier à disposition dans la BDRP comporte, sous forme de fichiers vidéo au format mp4, l'extrait de l'émission de ABE concernant cette publicité.*

*Cette discussion concernant un chauffage électrique n'a pas fait l'objet d'une situation-problème à proposer aux élèves. Mais il est tout à fait envisageable de leur soumettre une publicité pour un radiateur électrique et de leur demander une analyse critique des cette pub.*

*Le film de l'émission ABE peut leur être montré après une discussion de classe pour qu'ils puissent voir si leur esprit critique a bien fonctionné.*

*En OSMEP, on peut demander aux élèves de faire le calcul du rendement de la centrale à biogaz (situation-problème EC 4.06).*

## Situations-problèmes

- EC 4.05\*\*** centrale à biogaz, couplage chaleur-force et fabrication de pellets  
**EC 4.06\*\*** centrale à biogaz, couplage chaleur-force, avantages et rendement (OSMEP)

\*\* Les situations-problèmes EC 4.05 et EC 4.06 sont aussi proposées dans les activités du thème *Énergie et climat* et du thème *Énergie et société*

## QCM Énergie

Item N° 64

## Enseignement de l'énergie

# Éléments de thermodynamique et concept d'exergie

- Le concept d'exergie ou comment comparer chauffage à mazout, chauffage électrique et chauffage par pompe à chaleur...
- Explication concernant la pompe à chaleur
- Critique de publicités pour du chauffage électrique

Ce dossier fournit une vulgarisation relative au 2ème principe de la thermodynamique et à ses conséquences lorsqu'on veut comparer des systèmes transformateurs d'énergie en prenant en compte une dimension écologique. Ce 2ème principe permet de définir une grandeur appelée **exergie** qui quantifie la **qualité** d'une énergie. Pour aider à comprendre cette notion d'exergie, le professeur Lucien Borel<sup>1</sup> a représenté les systèmes de soutirage d'énergie au moyen de dessins mettant en scène des personnages qui sont des paquets d'énergie. Ce document présente quelques-uns de ces dessins.

Ce dossier comporte en outre un document explicatif concernant la pompe à chaleur et des documents relatifs à une analyse critique de publicité pour des radiateurs électriques.

<sup>1</sup> Lucien Borel a été professeur à l'EPFL jusqu'en 1998 puis professeur émérite et a écrit de nombreux ouvrages tant destinés aux spécialistes qu'à un plus large public

## Un petit peu de thermodynamique ou comment comparer chauffage à mazout, chauffage électrique et chauffage par pompe à chaleur...

### Le rendement de Carnot

Le texte indenté ci-dessous est tiré de : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Deuxième\\_principe\\_de\\_la\\_thermodynamique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Deuxième_principe_de_la_thermodynamique)

Le deuxième principe de la thermodynamique (également connu sous le nom de deuxième loi de la thermodynamique ou principe de Carnot) établit l'irréversibilité des phénomènes physiques, en particulier lors des échanges thermiques. C'est un principe d'évolution qui fut énoncé pour la première fois par Sadi Carnot en 1824. Il a depuis fait l'objet de nombreuses généralisations et formulations successives par Clapeyron (1834), Clausius (1850), Lord Kelvin, Ludwig Boltzmann en 1873 et Max Planck [...], tout au long du XIXe siècle et au-delà jusqu'à nos jours.

Ce deuxième principe décrit une fonction d'état appelée entropie et désignée par la lettre **S**. Cette grandeur **S** est une mesure de l'état de désordre de la matière. Sa valeur est grande lorsque les molécules s'agitent en tout sens (énergie thermique) ; elle est plus petite si la matière est animée d'un mouvement d'ensemble (énergie mécanique).

En thermodynamique on parle parfois d'énergie noble et d'énergie dégradée. L'énergie est dite "noble", si elle peut être entièrement dégradée en chaleur. L'énergie cinétique d'une roue qui tourne ou d'un véhicule qui roule est noble (entropie relativement basse). L'énergie électrique est noble. L'énergie thermique libérée par la flamme d'un combustible n'est pas noble (entropie relativement élevée), mais elle n'est pas entièrement dégradée dans la mesure où l'on peut la dégrader encore pour se chauffer ou en soutirer une partie pour obtenir de l'énergie noble. L'énergie thermique libérée dans l'environnement à la température ambiante et qui ne peut plus être exploitée pour qu'une partie noble en soit soutirée est considérée comme complètement dégradée. Mais elle n'est pas considérée comme entièrement dégradée si on en tire de la chaleur grâce à une pompe à chaleur et qu'on la dégrade à une température plus basse que la température ambiante.

Il est donc possible de soutirer de la chaleur ou de l'énergie noble sous forme mécanique ou électrique à partir d'une source de chaleur à condition de faire transiter l'énergie thermique entre une source chaude de température **T<sub>c</sub>** (c pour chaude) et une source froide de température **T<sub>f</sub>** (f pour froide ou finale) dans un système (moteur, machine, centrale).

Le deuxième principe de la thermodynamique veut que seule une part de cette énergie thermique peut être "anoblée". Il est en effet impossible de convertir l'entier d'une énergie d'agitation désordonnée en un mouvement ordonné. On peut s'imaginer que seule la composante des vitesses d'agitation qui est orientée dans une direction donnée participe du mouvement attendu, le reste demeurant de la chaleur (penser au piston d'un moteur à explosion ou à vapeur). Carnot a établi que la part maximum d'énergie pouvant être soutirée lors du transfert d'énergie entre une source chaude et une source froide est donnée par la relation

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

$\eta$  est ce qu'on appelle le rendement de Carnot. Les températures sont les températures absolues donc exprimées en kelvins.

Le thermodynamicien Lucien Borel s'est, entre autres, intéressé aux systèmes de production de chaleur pour le chauffage ou la production d'eau chaude. La part d'énergie

noble que recèle une source donnée est appelée son exergie. Celle ci dépend des températures entre lesquelles l'énergie thermique est significative. Il a défini un **rendement exérgétique h** par la relation

$$h = e \left( 1 - \frac{T_f}{T_c} \right)$$

dans laquelle **e** est l'efficacité énergétique, c'est à dire la proportion d'énergie utile qui sort du système par rapport à l'énergie consommée entrant dans le système, **T<sub>f</sub>** est la température finale utile (température des locaux chauffés ou de l'eau chaude obtenue), **T<sub>c</sub>** est la température de la source chaude à laquelle l'énergie est fournie.

Pour aider à comprendre cette notion d'exergie, Lucien Borel a représenté les systèmes de soutirage d'énergie au moyen de dessins mettant en scène des personnages qui sont des paquets d'énergie. Il a affublé ces personnages d'une auréole lorsque l'énergie qu'ils représentent est noble. Ces personnages évoluent du haut des dessins vers le bas selon une gradation qui exprime la température à laquelle se passent les événements produits dans le système. Tout en haut, la température, celle qui correspond à de l'énergie noble, est infinie (**T = ∞**). Tout en bas, celle qui correspond à de l'énergie dégradée, est de 0°C (**T = 273 K**).

Les efficacités énergétiques **e** prises en compte par Lucien Borel sont de

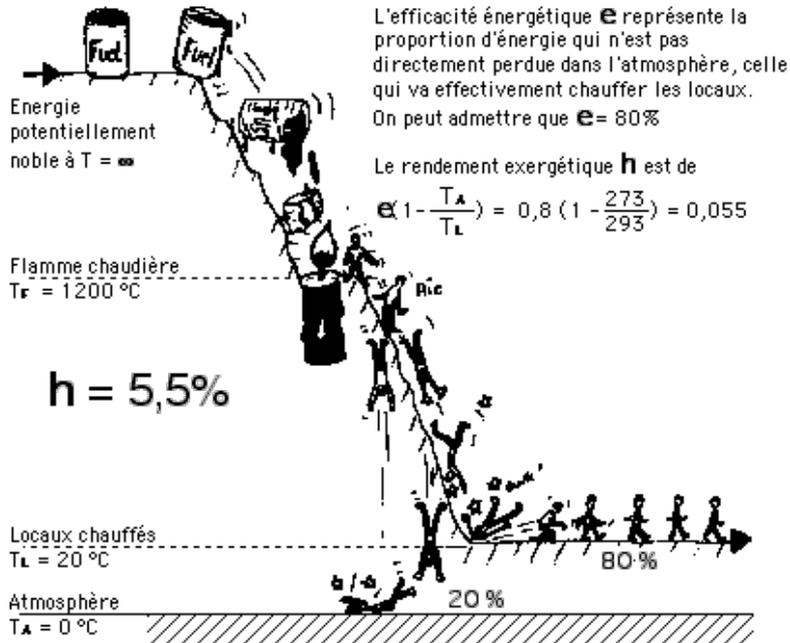
- 80 % pour un chauffage à mazout car 20% de l'énergie s'échappe par la cheminée et sous forme d'autres pertes.
- 100 % pour un chauffage électrique car l'énergie électrique est entièrement transformée en chaleur.
- 400 % pour pompe à chaleur, ce qui veut dire que le thermodynamicien admet qu'elle produit 4 fois plus d'énergie qu'elle en consomme au réseau électrique.

Pour les températures, Lucien Borel a fait les choix suivants :

- **T<sub>f</sub>** est considérée comme étant de 20°C c'est à dire 293 K, et désignée par **T<sub>L</sub>** pour température des locaux chauffés,
- **T<sub>f</sub>** est parfois de 70°C c'est à dire 343 K, et désignée par **T<sub>E</sub>** pour température de l'eau chauffée.
- **T<sub>c</sub>** est admis à 0°C (valeur standard) c'est à dire 273 K, et désignée par **T<sub>A</sub>** pour température de l'atmosphère.

## Des dessins explicatifs proposés par le professeur Lucien Borel

### L'exergie dans le cas d'un chauffage au mazout



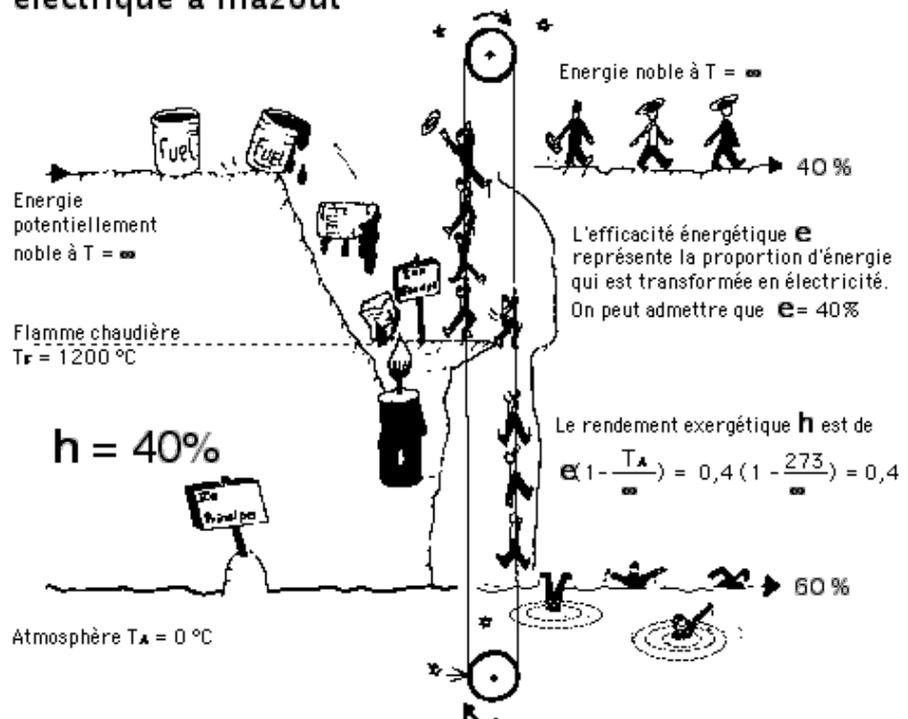
Tiré de l'ouvrage:  
Lucien Borel - Thermodynamique et énergétique. Presses Polytechniques romandes, 1987

L'énergie finale utile est livrée pour le chauffage des locaux. Sa valeur réside dans le fait qu'elle maintient la température des locaux chauffés à 20°C au-dessus de la température de l'atmosphère, température de 0°C à laquelle cette énergie se dégradera finalement.

C'est pourquoi le calcul se fait avec  $T_L = 293\text{ K}$  et  $T_A = 273\text{ K}$

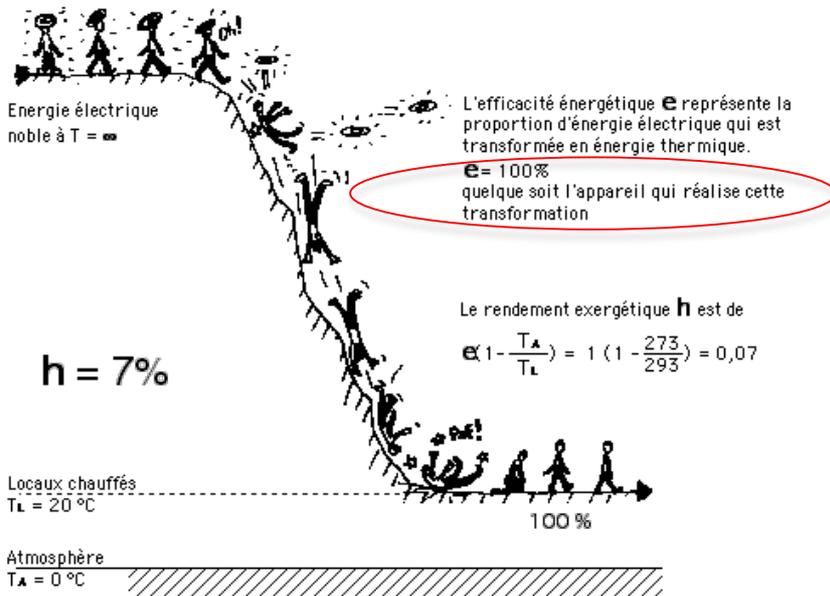
### L'exergie dans le cas d'une centrale électrique à mazout

L'énergie finale utile est de l'électricité. C'est de l'énergie noble et la température correspondante est infinie ( $T_f = \infty$ ) alors que le système fonctionne en puisant de l'énergie d'une source froide à 0°C. ( $T_A = 273\text{ K}$ )



Tiré de l'ouvrage:  
Lucien Borel - Thermodynamique et énergétique. Presses Polytechniques romandes, 1987

## L'exergie dans le cas d'un chauffage électrique



Dans le cas où l'énergie électrique est produite par une centrale à mazout avec un rendement de 40 %, le rendement exergétique  $h$  global pour le chauffage électrique est de

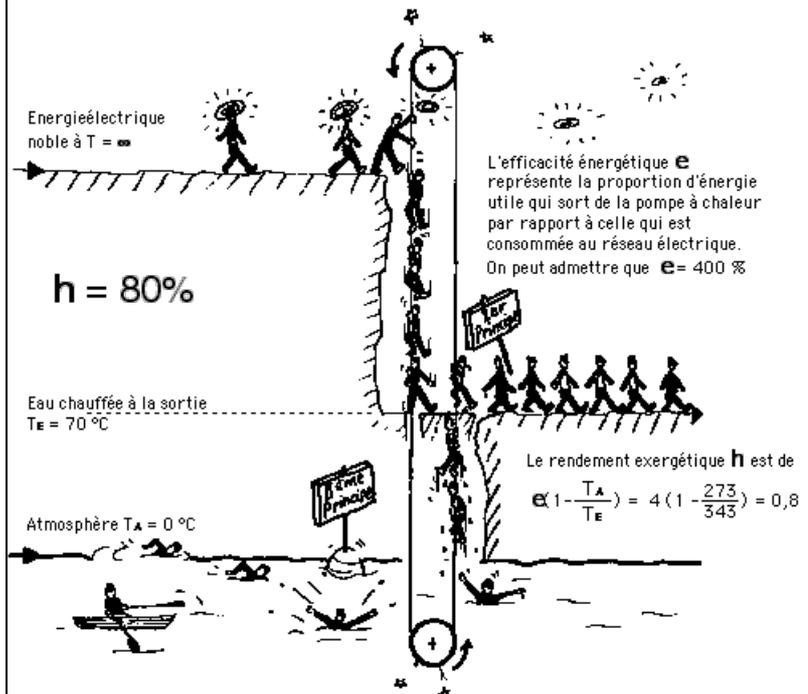
$$h = 40\% \cdot 7\% = 2,8\%$$

Tiré de l'ouvrage :  
 Lucien Borel – Thermodynamique et énergétique. Presses Polytechniques romandes, 1987

### Important !

Quels que soient les arguments des commerçants qui vendent des chauffages électriques, aucun de ces chauffages ne peut avoir un rendement énergétique meilleur qu'un autre.

## L'exergie dans le cas d'une pompe à chaleur



### Remarque :

La pompe à chaleur représentée ici puise de l'énergie à la température de 0°C.

On pourrait imaginer une pompe à chaleur puisant son énergie à une plus basse température (cas des frigos ou congélateurs).

La température de 70°C peut être considérée comme une température d'utilisation finale dans le cas où elle sert d'eau sanitaire. Pour la part chauffage, la température d'utilisation  $T_c$  est de 20°C et le rendement exergétique  $h$  global est de

$$e \left(1 - \frac{T_A}{T_c}\right) = 4 \left(1 - \frac{273}{293}\right) = 0,27$$

$$h = 27\%$$

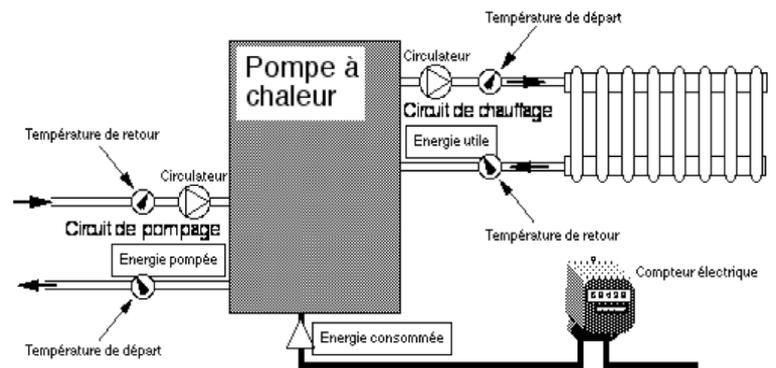
Tiré de l'ouvrage :  
 Lucien Borel – Thermodynamique et énergétique. Presses Polytechniques romandes, 1987

## Pompe à chaleur (PAC)

### Principe :

Capter de l'énergie dans une source froide pour l'injecter dans le circuit de chauffage.

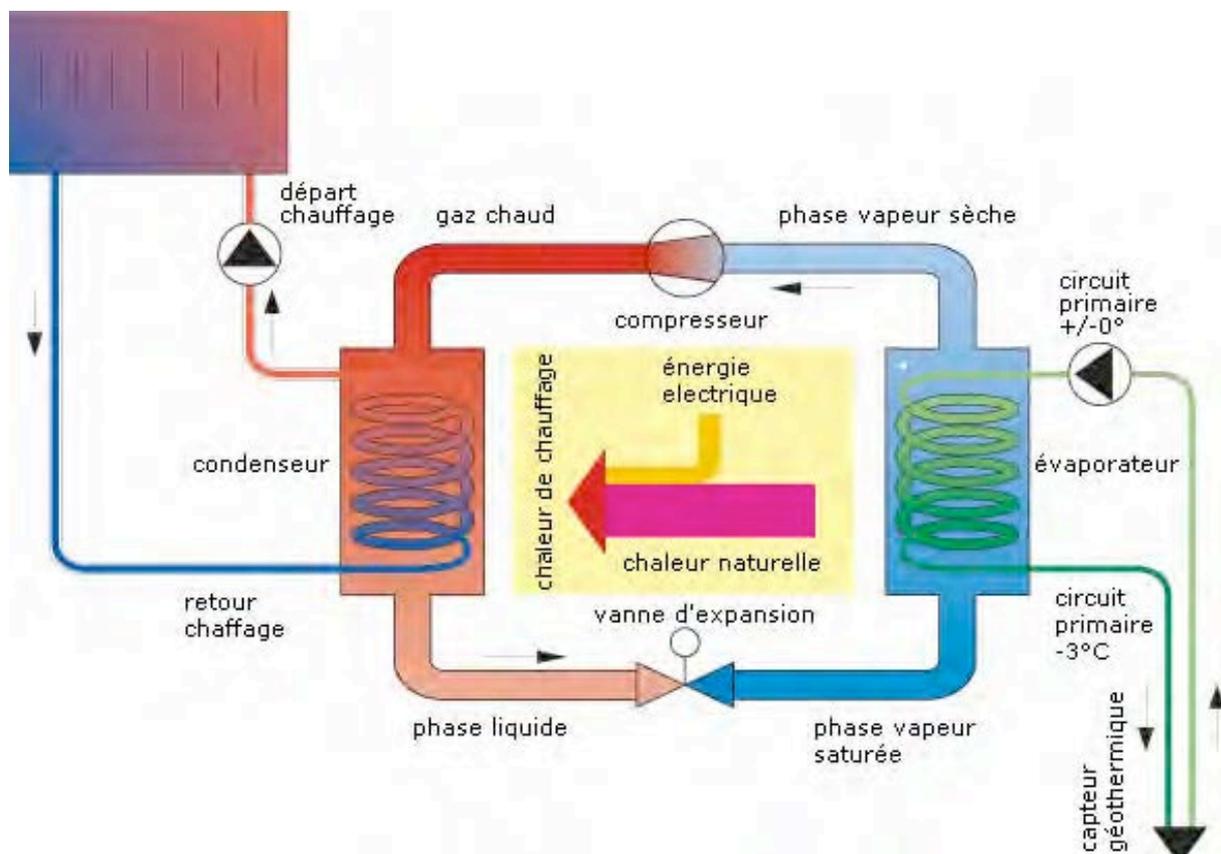
Comme ce transfert est « contre nature », il faut fournir de l'énergie pour qu'il ait lieu. Cette énergie fournie alimente un compresseur.



(Le texte qui suit est tiré de : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Pompe\\_à\\_chaleur](http://fr.wikipedia.org/wiki/Pompe_à_chaleur))

La PAC dispose de quatre organes principaux (cf. schéma ci-dessous) :

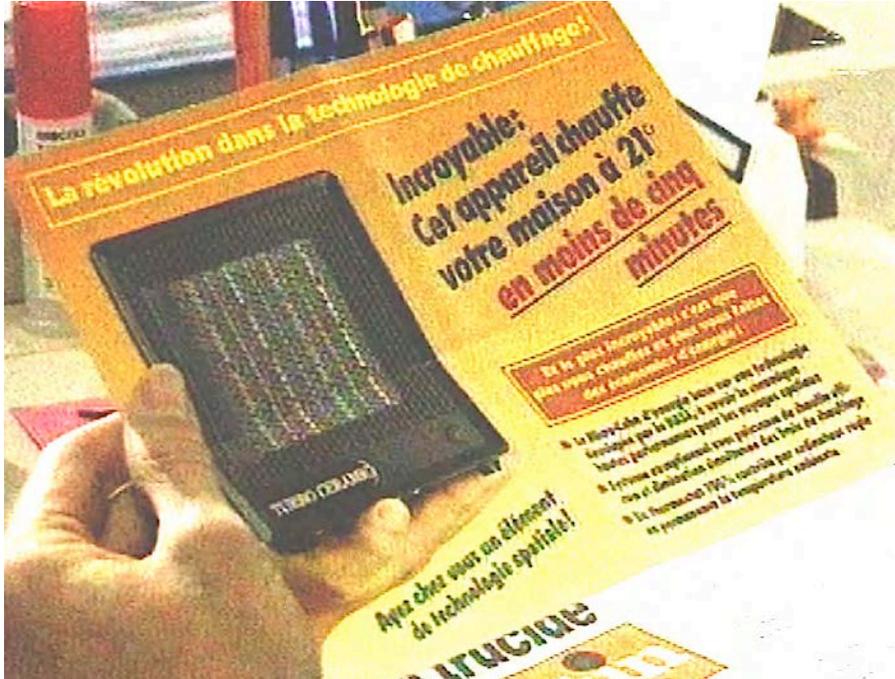
1. le **condenseur** (source chaude) : le fluide frigorigène libère sa chaleur au fluide secondaire (eau, air...) en passant de l'état gazeux à l'état liquide,
2. le **réducteur de pression** (souvent improprement appelé détendeur) : il réduit la pression du fluide frigorigène en phase liquide.
3. l'**évaporateur** (source froide) : la chaleur est prélevée au fluide secondaire pour vaporiser le fluide frigorigène.
4. le **compresseur** : actionné par un moteur électrique, il élève la pression et la température du fluide frigorigène gazeux en le comprimant



Dessin tiré de : <http://www.encyclopedie-gratuite.fr/Definition/Technique/images/pompe-chaleur.jpg>

Publicité diffusée en 1993 (Émission RTS ABE du 25.01.1994)

## La révolution dans la technologie de chauffage



Imaginez : il est capable de chauffer une pièce de 73 m<sup>3</sup> en quelques minutes même si la température est inférieure à 0°C au moment de sa mise en fonction.

**Incroyable :**  
Cet appareil chauffe votre maison à 21°C en moins de 5 minutes

Et le plus incroyable : c'est que plus vous chauffez et plus vous faites des économies d'énergie  
Système exceptionnel avec puissance de chauffe efficace et diminution simultanée des frais de chauffage  
Un thermostat 100% contrôlé par ordinateur règle en permanence la température ambiante

Le microcube d'énergie basé sur une technologie développée par la NASA, à savoir la céramique haute performance pour les voyages spatiaux.

### Petit raisonnement

Quelle est l'énergie nécessaire à chauffer un volume de 73 m<sup>3</sup> d'air de 0 à 21 degrés et quelle puissance faut-il pour réaliser ce chauffage en 5 minutes ?

Hypothèse la plus optimiste :

On admet que l'on ne chauffe que l'air, sans chauffer les parois du local et sans qu'il y ait échange d'air (pas d'air froid qui entre dans la pièce et pas d'air chaud qui en sort).

Données pour l'air à la pression atmosphérique et avec un taux d'humidité moyen

Chaleur massique de l'air est de 1,0 kJ/kg-1

Masse volumique est de 1,3 kg/m<sup>3</sup>

Calcul :

Masse des 73 m<sup>3</sup> d'air :  $73 \cdot 1.3 = 94.9$  kg

Énergie pour chauffer l'air de 1 degré : 94.9 kJ

Énergie pour chauffer l'air de 21 degré : 1993 kJ, soit 553 kWh

Puissance requise pour 5 min de chauffage :  $553 \text{ kWh} / (1/12 \text{ h}) = 6643 \text{ W}$  soit plus de 6 kW !

Cette publicité a été critiquée dans l'émission de la RTS *À Bon Entendeur* du 25.01.1994

## Variante de publicité pour le même produit :

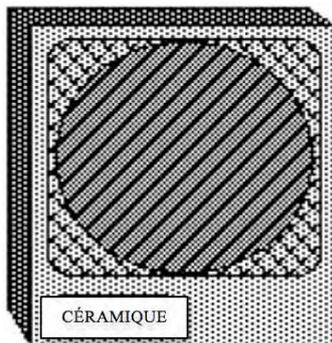
Une révolution dans le chauffage de la maison !

**Conçu grâce à la technologie des céramiques haute performance développées par la NASA pour la navette spatiale, ce microcube d'énergie** de 16 cm de côtés est le seul système de chauffage qui vous chauffe efficacement et qui diminue votre facture d'électricité

**Cet appareil chauffe une pièce avec l'énergie d'une ampoule de 60 W**

Les corps de chauffe noyés dans la masse de céramique alvéolée diffusent uniformément la chaleur. La céramique emmagasine cette chaleur et la libère dans l'air à travers les alvéoles

### CHAUFFAGE CÉRAMIQUE À DISQUES DE CÉRAMIQUE HAUTE TECHNOLOGIE



#### Caractéristiques

Puissance de 500 à 1000 W  
approuvé normes USA, Canada et TUV

#### PROMOTION

#### Une performance jamais atteinte

Ce petit cube est capable de chauffer une pièce de 60 m<sup>3</sup> en quelques minutes, même si la température est inférieure à 0°C

Inspiré des systèmes thermiques des industries de pointe, ce chauffage utilise des éléments en céramique pure semi-conducteur, produisant une chaleur intense pour une très faible consommation d'énergie.

## Une publicité trouvée sur Internet en 2015

<http://annonces-gratuites.index-net.org/petites-annonces-chauffage-et-climatisation-443/radiateur-electrique-economique-eure-vers-evreux-annonce-37070.html>

### NOUVEAU !

Réalisez 35% d'économie avec notre sélection de radiateur CALIDOUS PLUS



#### Fonte Active à Inertie Dynamique

- Avec 2 radiateurs dans seul radiateur
- Avec sa Fonte active à inertie dynamique
- Avec sa Façade rayonnante prioritaire
- Avec sa Nouvelle Intelligence sensorielle numérique
- Avec son indispensable Point Chaud permanent
- et... sa sortie d'air frontale, gage de propreté des murs et d'économies d'énergie.

**Question sans réponse : comment est obtenu ce « 35% d'économie » ?**

## Réchauffons-nous avec un peu de théorie :

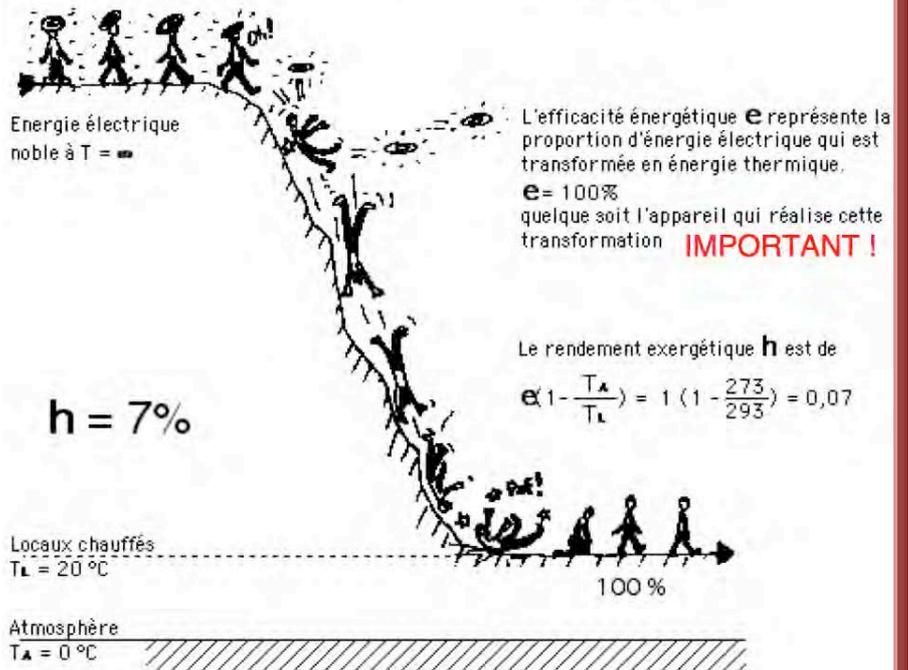
Lors de toute transformation de l'énergie, une part de celle-ci se dégrade en chaleur qui est le niveau le plus bas de la « qualité » de l'énergie résultant d'une agitation désordonnée des molécules et atomes.

Lorsque de la chaleur est produite à partir d'une autre forme d'énergie (électrique, mécanique, chimique, rayonnement), c'est le 100% de l'énergie qui se dégrade en chaleur ( $e = 100\%$ ) dans l'illustration ci-contre.

La conception du radiateur électrique n'y change absolument rien !

Ce qui distingue les diverses sortes de radiateurs électriques, c'est leur mode de diffusion de la chaleur. Il peut être immédiat ou retardé (accumulateur), par rayonnement ou convection, avec circulation d'air forcée (ventilateur) ou un mix de ces modes. Ces modes de diffusion influent sur la sensation de confort, mais le rendement du radiateur est toujours le même (100%).

### L'exergie dans le cas d'un chauffage électrique



Dans le cas où l'énergie électrique est produite par une centrale à mazout avec un rendement de 40 %, le rendement exergétique  $h$  global pour le chauffage électrique est de

$$h = 40\% \cdot 7\% = 2,8\%$$

Tiré de l'ouvrage :  
 Lucien Borel - Thermodynamique et énergétique. Presses Polytechniques romandes, 1987

Note : le rendement de 40% est celui, approximativement, de toute centrale thermique, y compris une centrale nucléaire

Atelier sur le thème **Approche de l'Énergie (ApEn)**

Pages suivantes :

# Situations-problèmes

**Energie - centrale à biogaz, couplage chaleur-force et fabrication de pellets****Consigne :**

L'illustration montre une installation de la campagne fribourgeoise qui produit du biogaz, essentiellement du méthane. Ce méthane est brûlé dans une chaudière couplée à une turbine qui actionne un générateur électrique. L'énergie électrique est injectée dans le réseau.

L'installation comporte en outre une petite usine de fabrication de copeaux de bois (pellets). Ces pellets sont produits à partir de déchets de bois de la région. La chaleur non convertie en électricité dans le groupe électrogène est récupérée pour alimenter un séchoir dans lequel les pellets sont déshydratés pour pouvoir être commercialisés.

Quand on fabrique de l'électricité en récupérant la chaleur produite, on parle de couplage chaleur-force ou de cogénération.

Quel intérêt, quels avantages, et peut être quels inconvénients présente une telle installation ?

**Document(s)**

Biogaz et couplage chaleur-force



Source: <http://www.greenwatt.ch/aquarius/slir/w290-h150-c290:150/pictures/content/DSC09934.jpg?cdate=5491>

**Energie - centrale à biogaz, couplage chaleur-force et fabrication de pellets** **EC4.05****Atelier ApEn Esoc Clim Exer**

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>Phase</b>    | <b>discussion</b>   |
| <b>Concepts</b> | <b>biogaz méthane CO2 pollution effet de serre couplage chaleur-force</b> |
| <b>Sujet</b>    | <b>Biogaz et cogénération</b>   |

**Indications didactiques**

Il est probable que les élèves ne manqueront pas d'idées quant à l'intérêt d'une telle installation.

Les propositions de élèves pourront être discutées.

L'enseignant pourra apporter ses explications, inviter les élèves à se documenter sur Internet et/ou remettre le document "Biocarburant et couplage chaleur-force".

Ce type de situation-problème peut servir à amorcer une réflexion.

La question de savoir quel est l'impact des efforts réalisés en Suisse pour diminuer les rejets de CO<sub>2</sub> peut faire l'objet d'un intéressant débat. (voir le problème "Én - émission de CO<sub>2</sub> dans le monde et en Suisse")

(Voir le document "Biocarburant et couplage chaleur-force")

## Energie - centrale à biogaz, couplage chaleur-force, calcul rendement

### Consigne :

De plus en plus, on voit des fermes qui s'équipent d'installation de production de biogaz. Ce biogaz est brûlé dans une chaudière couplée à une turbine qui actionne un générateur électrique. L'énergie électrique est envoyée dans le réseau et, généralement, la chaleur est récupérée pour du chauffage à distance. On parle de couplage chaleur-force ou de cogénération.

L'illustration montre la plaquette signalétique qui est apposée sur la porte d'accès à la machinerie d'une ferme de la région fribourgeoise qui produit du biogaz. Cette machinerie permet d'injecter de l'énergie électrique dans le réseau et la chaleur qui en sort sert à sécher des copeaux de bois (pellets).

- Quel est le principal avantage du couplage chaleur force ?
- Quel est le rendement global de l'installation décrite par la plaquette signalétique.

### Document(s)

Problème rendement cogénération

Biogaz et couplage chaleur-force

Photo JCN

| avesco CAT          |            | Avesco AG<br>BHKW Energiesysteme<br>Grüngenstrasse 19<br>CH-4416 Bubendorf |                  | CE |
|---------------------|------------|--|------------------|----|
| Energiesysteme      |            | Tel. 0848 636 636<br>Fax 061 935 10 99                                     |                  |    |
| Typ                 | AGRO 370   |  |                  |    |
| Auftrags Nr.        | 11M0399    | Baujahr  | 2011             |    |
| Brennstoff          | Biogas     | Nennzahl   | 1500min-1        |    |
| Nennleistung        | (ICFN)     | 463 kVA / 370 kW (bei cos-phi 0.8)   |                  |    |
| Brennstoffleistung  | 911 kW     | Nennspannung bei 50Hz  | 3x400 / 230 VAC  |    |
| Thermische Leistung | 409 kW     | Nennstrom bei 400VAC   | 720 A            |    |
| Masse               | 23500 kg   | Kurzschlussstrom   | 1440 A           |    |
| Funktionsgrad       | DIN 57 875 | Steuerspannung   | 230 VAC / 24 VDC |    |

## Energie - centrale à biogaz, couplage chaleur-force, calcul de rendement

EC4.06

Atelier ApEn Esoc Clim Exer

|          |  |
|----------|--|
| Phase    | discussion   |
| Concepts | biogaz méthane CO <sub>2</sub> pollution effet de serre couplage chaleur-force |
| Sujet    | Biogaz et cogénération   |

### Indications didactiques

Il est probable que les élèves auront des idées quant à l'avantage du couplage chaleur force .

Les propositions des élèves pourront être discutées.

L'enseignant pourra apporter ses explications, inviter les élèves à se documenter sur Internet et/ou leur remettre le document "Biocarburant et couplage chaleur-force".

Ce type de situation-problème peut servir à amorcer une réflexion.

La question de savoir quel est l'impact des efforts réalisés en Suisse pour diminuer les rejets de CO<sub>2</sub> peut faire l'objet d'un intéressant débat. (voir le problème "Énergie - émission de CO<sub>2</sub> dans le monde et en Suisse")

Quant au calcul du rendement, il ne sera faisable que par des élèves ayant déjà eu l'occasion de travailler avec ce concept. Le calcul est facile à partir du moment où l'on sait de quoi on parle. Le document "Biocarburant et couplage chaleur-force" comporte le calcul détaillé de ce rendement.

(Voir le document "Biocarburant et couplage chaleur-force")

Atelier sur le thème **Approche de l'Énergie (ApEn)**

Pages suivantes :

# Documents d'accompagnement

## Biogaz et couplage chaleur-force

### Production d'électricité et fabrication de pellets à partir de biogaz

Cette installation de la campagne fribourgeoise produit du biogaz, essentiellement du méthane. Ce méthane est brûlé dans une chaudière couplée à une turbine qui actionne un générateur électrique. La chaleur non convertie en électricité est récupérée pour alimenter une installation de séchage de pellets. On parle de couplage chaleur-force ou de cogénération.



Les dômes abritant les cuves de fermentation



Au premier plan, l'installation de cogénération, en arrière les silos de stockage des pellets

Le texte qui suit est adapté de :

[http://www.greenwatt.ch/download/Communique\\_de\\_presse\\_Inauguration\\_Energiepark\\_Dudingon\\_F.pdf](http://www.greenwatt.ch/download/Communique_de_presse_Inauguration_Energiepark_Dudingon_F.pdf)

#### Le couplage chaleur-force

Le générateur injecte dans le réseau électrique plus de 2'200'000 kWh par année ce qui correspond à la consommation d'environ 500 ménages. La production de pellets de bois s'élève à 5000 tonnes par année ce qui correspond à 2,5 millions de litres de mazout.

Les lisiers et fumiers proviennent de 30 exploitations agricoles situées dans les environs. La production de méthane est également assurée par la digestion de déchets organiques provenant d'entreprises actives notamment dans l'industrie alimentaire. L'installation traite également des déchets verts de collectivités ou de privés.

Au terme de la méthanisation, le digestat est entièrement rendu à l'agriculture et répandu dans les champs. Cela permet de réduire les émissions d'odeurs et de fournir aux sols des engrais naturels moins agressifs et mieux équilibrés que les engrais conventionnels.

#### La production des granulés de bois

La centrale de production de pellets fonctionne grâce à un procédé technique exclusif. Les granulés sont produits sans aucun auxiliaire de pressage tel que colle ou amidon. Le bois, issu des forêts de la région, est déchiqueté avec son écorce puis séché par la chaleur résiduelle de l'installation de biomasse mais également par l'air chaud récupéré sous le toit, exposé plein sud, de la halle de stockage.

#### L'aspect climat

S'il n'avait pas été produit dans cette installation, le méthane se serait produit dans les composts, les fosses à purin, les tas de fumier et dans les champs et aurait été libéré dans l'atmosphère. Au lieu de cela, l'installation rejette du gaz carbonique CO<sub>2</sub> par combustion de méthane. Cela paraît contre productif, mais il faut savoir que le CO<sub>2</sub> est 23 fois moins nocif que le méthane en terme de réchauffement climatique (l'effet de serre produit par le méthane est 23 fois plus intense que celui que produit le CO<sub>2</sub>).

De plus, les granulés de bois fabriqués ici, énergie indigène renouvelable, permettent l'économie de 2,5 millions de litres de mazout par an.

### Égaleme<sup>n</sup>t de l'énergie photovoltaïque

800 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques ont été installés sur le toit du bâtiment principal. Cette surface fournit l'équivalent de 30 ménages en énergie électrique solaire, qui s'ajoutent aux 500 foyers approvisionnés par l'installation de biogaz.

Cette réalisation s'inscrit parfaitement dans la nouvelle politique énergétique de la Confédération et dans la philosophie cantonale et régionale, s'agissant des aspects énergétiques et environnementaux.

### Le rendement de la machine de couplage chaleur-force

Cette plaquette signalétique est apposée sur la porte d'accès à la machinerie.

|   |            |  |                  |   |
|---|------------|--|------------------|---|
|   |            | Avesco AG<br>BHKW Energiesysteme<br>Grüngenstrasse 19<br>CH-4416 Bubendorf |                  |  |
| <b>Energiesysteme</b>   |            | Tel. 0848 636 636<br>Fax 061 935 10 99                                     |                  |   |
| Typ   | AGRO 370   |  |                  |   |
| Auftrags Nr.  | 11M0399    | Baujahr  | 2011             |   |
| Brennstoff  | Biogas     | Nennrehzahl  | 1500min-1        |   |
| Nennleistung  | (ICFN)     | 463 kVA / 370 kW (bei cos-phi 0.8)   |                  |   |
| Brennstoffleistung  | 911 kW     | Nennspannung bei 50Hz  | 3x400 / 230 VAC  |   |
| Thermische Leistung   | 409 kW     | Nennstrom bei 400VAC   | 720 A            |   |
| Masse   | 23500 kg   | Kurzschlussstrom   | 1440 A           |   |
| Funkstörgrad  | DIN 57 875 | Steuerspannung   | 230 VAC / 24 VDC |   |

En traduisant de l'allemand quelques termes, on peut lire :

La puissance de combustion (Brennstoffleistung) est de 911 kW

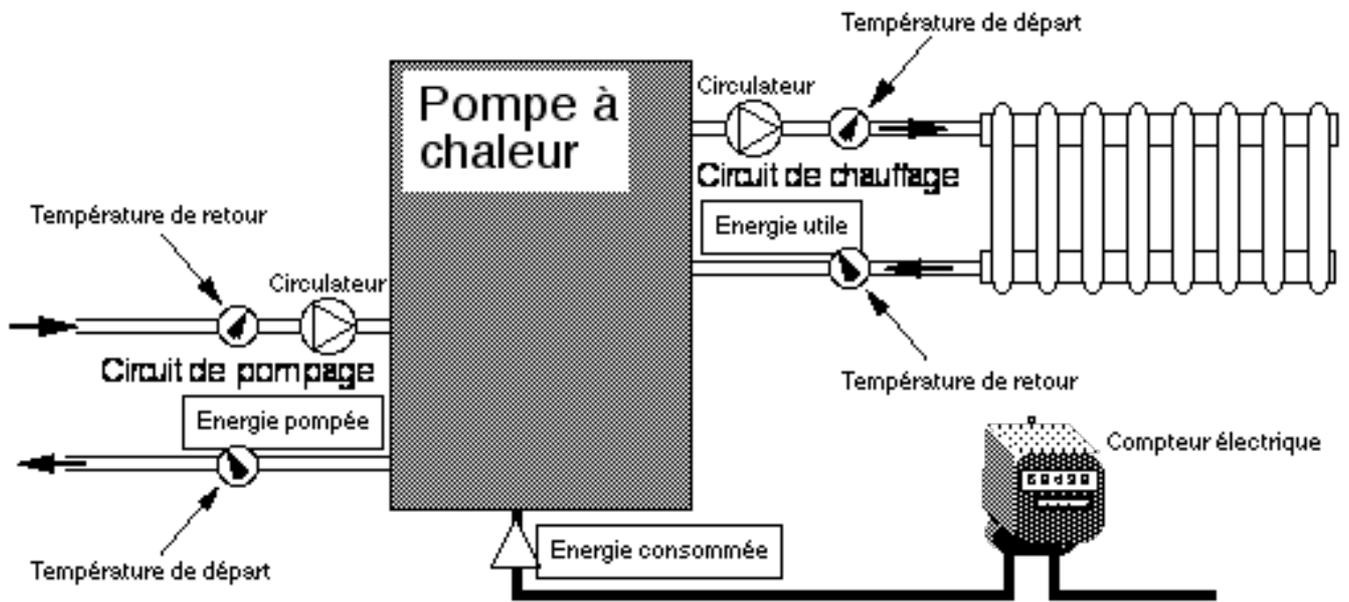
La puissance électrique fournie au réseau (Nennleistung) par le générateur est de 370 kW

La puissance thermique (Thermische Leistung) fournie au réseau de chauffage est de 409 kW

La puissance totale en sortie est de 370 kW + 409 kW = 779 kW

Le rendement net des l'installation est donc de 779 kW / 911 kW = 0.855 ou 85.5%

L'énergie perdue est évacuée par la cheminée et une partie est due à la présence de vapeur d'eau dans le gaz. ( ? )



## Problème rendement cogénération (couplage chaleur-force)

|   |            |   |  |  |  |   |  |
|---|------------|---|--|--|--|---|--|
|  |            |  |  | Avesco AG<br>BHKW Energiesysteme<br>Grüngenstrasse 19<br>CH-4416 Bubendorf |  |  |  |
| <b>Energiesysteme</b>   |            |   |  | Tel. 0848 636 636<br>Fax 061 935 10 99                                     |  |   |  |
| Typ   |            | AGRO 370  |  |  |  |   |  |
| Auftrags Nr.  | 11M0399    | Baujahr   |  | 2011   |  |   |  |
| Brennstoff  | Biogas     | Nenn Drehzahl   |  | 1500min-1  |  |   |  |
| Nennleistung  | (ICFN)     | 463 kVA / 370 kW (bei cos-phi 0.8)  |  |  |  |   |  |
| Brennstoffleistung  | 911 kW     | Nennspannung bei 50Hz   |  | 3x400 / 230 VAC  |  |   |  |
| Thermische Leistung   | 409 kW     | Nennstrom bei 400VAC  |  | 720 A  |  |   |  |
| Masse   | 23500 kg   | Kurzschlussstrom  |  | 1440 A   |  |   |  |
| Funktörgrad   | DIN 57 875 | Steuerspannung  |  | 230 VAC / 24 VDC   |  |   |  |

Cette plaquette signalétique est apposée sur la porte d'accès d'un cogénérateur fonctionnant au gaz méthane produit dans une installation de biogaz de la campagne fribourgeoise.

La puissance de combustion (Brennstoffleistung) est de 911 kW

La puissance électrique fournie au réseau (Nennleistung) par le générateur est de 370 kW

La puissance thermique (Thermische Leistung) fournie au réseau de chauffage est de 409 kW

La puissance totale en sortie est de  $370 \text{ kW} + 409 \text{ kW} = 779 \text{ kW}$

Le rendement net des l'installation est donc de  $779 \text{ kW} / 911 \text{ kW} = 0.855$  ou 85.5%

L'énergie perdue est évacuée par la cheminée et une partie est due à la présence de vapeur d'eau dans le gaz. ( ? )

Atelier sur le thème **Approche de l'Énergie (ApEn)**

Page suivante :

# Questionnaire à choix multiple de réponses (QCM)

Tu peux ajouter des réponses qui te conviennent mieux sur les lignes blanches

64

CL 6

Les activités liées à l'agriculture rejettent du méthane – CH<sub>4</sub> (élevage et sols), du protoxyde d'azote – N<sub>2</sub>O (fertilisation azotée et gestion des déjections animales) et du dioxyde de carbone – CO<sub>2</sub>

Consommer bio...

- favorise les agriculteurs qui respectent les exigences de la production biologique (ils sont plus payés), mais cela n'a aucune incidence sur le réchauffement climatique
- est conseillé pour sa santé, mais a un impact négatif sur le réchauffement climatique car l'agriculture biologique produit plus de gaz à effet de serre
- contribue à limiter le réchauffement climatique par le fait que l'agriculture biologique produit moins de gaz à effet de serre que l'agriculture conventionnelle
- 
- 

Énergie sgriculture biologique et climat

64

CL 6

Concepts: énergie\_climat

Compétence: savoir

Consommer bio...

favorise les agriculteurs qui respectent les exigences de la production biologique (ils sont plus payés), mais cela n'a aucune incidence sur le réchauffement climatique

est conseillé pour sa santé, mais a un impact négatif sur le réchauffement climatique car l'agriculture biologique produit plus de gaz à effet de serre

contribue à limiter le réchauffement climatique par le fait que l'agriculture biologique produit moins de gaz à effet de serre que l'agriculture conventionnelle

Source: Réseau action climat - France <http://www.rac-f.org/Il-n-y-a-aucune-correlation-entre>