

# Quid si Fic !

## Enseigner l'utilisation efficace de l'énergie

par Luisa VIGLIETTA

IRRSAE Piemonte

Traduction de Monica BOCCALARI

Italie

«Quid si fic» (Si cela était !) lit-on sur le panneau soutenu par la petite sirène de la figure 1. Effectivement le dispositif que nous voyons sur cette figure est suggestif : il nécessite l'énergie la plus faible et a peu d'impact sur l'environnement.

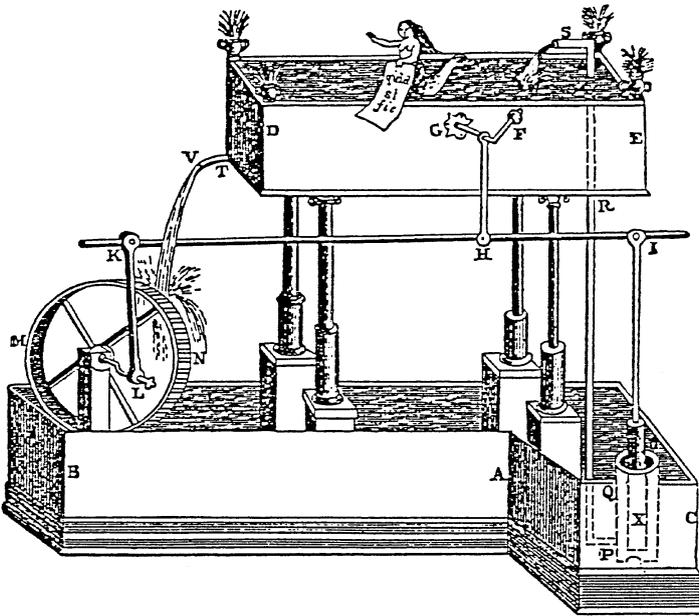


Figure 1 : H. Dircks, Perpetuum Mobile, Charing Cross, London, 1870.

Il suffit de faire remonter une seule fois le contenu du réservoir inférieur ; en s'écoulant l'eau perd son énergie gravitationnelle potentielle qui est utilisée pour faire tourner la turbine. L'énergie accumulée

dans la turbine est alors utilisée pour faire remonter l'eau au sommet d'où elle sera prête à redescendre. En étendant ce principe à d'autres systèmes on résoudrait le problème de la diminution des ressources énergétiques !

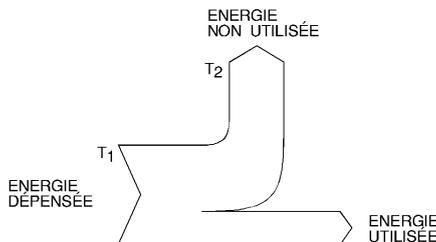
Mais personne ne peut croire en un appareil de ce genre puisque c'est un engin en mouvement perpétuel. L'impossibilité d'utiliser un engin en mouvement perpétuel fut établie dès le XVIII<sup>ème</sup> siècle. Suivant les lois de l'énergie nous ne pouvons rien obtenir pour rien. Nous sommes forcés de mettre de l'essence dans nos voitures pour les faire rouler et quelle que soit la source d'énergie utilisée pour un tel but cela provoque un réchauffement de l'environnement. Le problème qui en résulte alors est celui de trouver un moyen d'améliorer la performance des dispositifs éventuellement utilisables afin d'économiser l'énergie et de perturber le moins possible l'environnement.

Une étude de ce genre sur un emploi efficace de l'énergie est un sujet d'une telle importance pour la société qu'il a tous les droits d'être inclus dans un cours de physique au niveau secondaire. Dans ce bref article j'ai voulu présenter quelques outils d'analyse que nous pouvons offrir à nos étudiants pour leur permettre d'aborder ce problème.

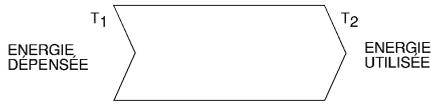
## COMMENT REPRÉSENTER LE FLUX DE L'ÉNERGIE

Le premier outil d'analyse est constitué par ce que l'on appelle «le diagramme Sankey» qui montre la transformation d'énergie dépensée en une combinaison d'énergie utile et d'énergie rejetée. Nous parlons d'énergie dépensée et non d'énergie consommée parce que l'énergie se conserve ; ce qui est consommé, nous le verrons tout à l'heure, ce n'est pas l'énergie mais sa disponibilité à travailler.

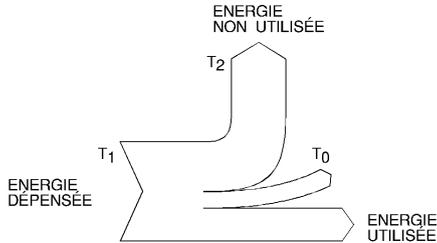
Des exemples des diagrammes Sankey pour des machines courantes, idéaux et réelles, sont fournis dans les figures 2, 3, 4 et 5.



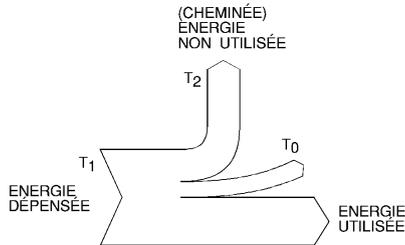
**Figure 2** : Moteur thermique idéal.



**Figure 3 :** Chaudière idéale.



**Figure 4 :** Moteur thermique réel.



**Figure 5 :** Chaudière réelle.

Selon ces diagrammes, le rendement (ou efficacité) «conventionnel»  $\eta$ , défini comme le rapport entre la quantité d'énergie utile et la quantité d'énergie dépensée pour le fonctionnement d'un appareil, a une valeur de 30 % pour un moteur thermique (par exemple, de voiture ou de centrale électrique) et de 75 % pour un système de chauffage. Cela nous amènerait à conclure qu'un réchauffement de l'eau ou de l'air ayant une efficacité de 75 % pourrait difficilement être amélioré, alors qu'une production d'électricité d'une efficacité de 30 % peut avoir un plus grande avenir.

En réalité, cette conclusion n'est pas tout à fait vraie. Cela s'explique par le fait qu'en général les bilans énergétiques ignorent toute référence à la «qualité» de l'énergie.

## L'ÉXERGIE

La qualité de l'énergie est donnée par sa capacité à produire du travail. Si on peut produire un travail de 10 000 J en pompant 100 l d'eau dans le réservoir supérieur, l'eau peut presque restituer ces 10 000 J en retournant à sa condition initiale. De toutes façons, si l'énergie potentielle n'est pas emmagasinée, elle apparaîtra dans le réservoir inférieur comme énergie interne de l'eau. Cela provoque une augmentation de la température de l'eau que nous pouvons calculer et qui vaut 0,024 K. (En effet,  $Q = cm\Delta T$  ;  $1/4186 \cdot 10\,000 = 100 \cdot \Delta T$  ;  $\Delta T = 0,024$  K).

L'énergie possédée par l'eau après la chute est la même que celle qu'elle avait initialement et pendant la chute ; mais on ne peut pas dire la même chose pour ce qui concerne sa disponibilité à travailler. L'eau qui tombe peut faire un travail de 100 000 J. L'eau réchauffée sous l'effet de sa chute peut, en principe, être utilisée pour actionner un moteur qui exploite la variation de la température avec le milieu (que nous supposons être de 300 K). Le travail maximum que ce moteur peut faire s'obtient par la formule de Carnot :

$$\eta = \Delta T/T \text{ ou } \eta = L/Q ; L_{\max} = \Delta T/T \cdot Q = 0,024/300 \cdot 10\,000 \text{ J} = 8 \text{ J.}$$

Par conséquent, au milieu de 10 000 J nous n'avons que 8 J disponibles pour produire du travail.

La quantité physique associée à la disponibilité de l'énergie pour produire du travail est le maximum du travail disponible ou **éxergie**.

L'éxergie, suivant une étude du A.I.P. (American Institute of Physics), peut être définie de la façon suivante : l'éxergie d'un corps (ou d'un système) constitue le travail maximum qui peut être fourni à un autre système pendant que ce corps atteint son état d'équilibre thermodynamique avec l'atmosphère. (Par atmosphère on entend un réservoir de dimensions suffisantes pour comprendre l'environnement du système ; il s'agit normalement de l'atmosphère terrestre).

Comme nous l'avons montré avec l'exemple du réservoir d'eau, tandis que l'énergie est conservée, la disponibilité à produire du travail, soit l'éxergie, ne l'est pas : l'énergie émise à la température ambiante correspond à une destruction de l'éxergie. Cela peut se comprendre en

observant les diagrammes figures 6 et 7 où une analyse de l'exergie est ajoutée à une analyse de l'énergie.

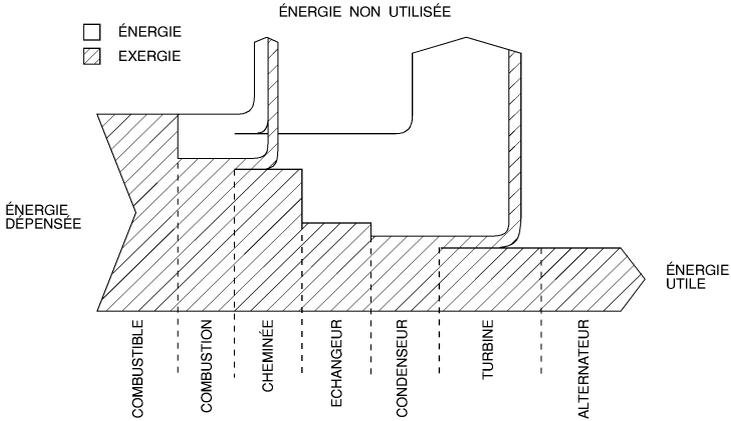


Figure 6 : Flux d'énergie et d'exergie dans une centrale électrique.

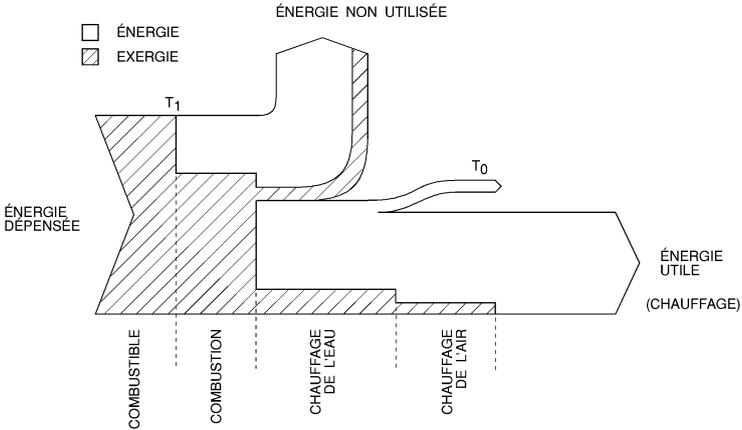


Figure 7 : Flux d'énergie et d'exergie dans un système de chauffage central.

Maintenant, si l'on définit l'efficacité de second ordre  $\epsilon$  comme le rapport entre la quantité de l'exergie utile et celle de l'exergie dépensée pour faire fonctionner un dispositif nous obtenons  $\epsilon = 5 \%$  pour un système de chauffage ;  $\epsilon = 30 \%$  pour une centrale électrique.

Ce résultat montre alors que le chauffage est de qualité inférieure par rapport à la production d'électricité. En effet, une pompe à chaleur est quatre fois (voir même plus) plus efficace qu'un fourneau, qu'une chaudière à combustible ou qu'une chaudière électrique pour chauffer de l'air ou de l'eau.

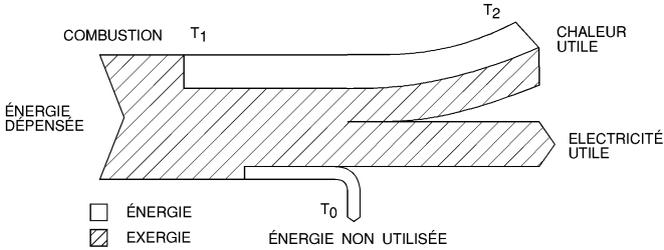
## PRODUCTION CONJOINTE

A vrai dire l'efficacité dans la production d'électricité peut être, elle aussi, améliorée. La production conjointe de chaleur et d'électricité pourrait représenter une des solutions.

Actuellement, une grande partie de l'électricité des centrales électriques est générée en brûlant du combustible qui produit de la vapeur, qui à son tour fait tourner une turbine. Ainsi que nous l'avons dit, au cours de ce procédé 30 % de l'énergie du combustible est rendue aux usagers sous forme d'électricité ; la plupart du reste est transformée en chaleur éliminée du générateur par l'eau du système de refroidissement.

Les savants et les ingénieurs ont recherché les moyens d'exploiter cette chaleur, sous-produit de l'électricité, et ont développé des systèmes de co-génération. D'autres ont tâché d'inverser le processus en produisant de l'électricité à partir du chauffage. A la suite de ces études, différents systèmes énergétiques «totaux» ont été développés. Un exemple est représenté par le TOTEM fabriqué par FIAT en Italie. Le TOTEM est un simple moteur à essence à 4 cylindres : celui de la FIAT 127. Il actionne un générateur qui produit de l'énergie électrique alors que le système de refroidissement est relié à un échangeur de chaleur qui transfère la chaleur au système de chauffage de l'établissement. Ce système d'utilisation modulaire intégré peut être employé aussi bien dans les industries que dans les écoles, les immeubles, etc. Étant donné qu'ici on brûle de l'«énergie combustible» pour le chauffage, on a avancé l'idée qu'une petite partie de ce combustible pourrait être très efficacement utilisée pour produire l'électricité.

Une analyse de l'énergie et de l'exergie du TOTEM est illustrée par la figure 8.



**Figure 8** : Flux d'énergie et exergie dans un TOTEM.

Le dispositif a un rendement conventionnel  $\eta = 27\%$  en tant que générateur électrique et  $\eta = 91\%$  concernant la production d'électricité et de chaleur. L'efficacité de second ordre est  $\varepsilon = 27\%$  pour la seule électricité et pourrait atteindre une valeur  $\varepsilon = 63\%$  dans le cas d'une production conjointe.

## CONCLUSION

Ce qui est préoccupant à une époque où la nécessité d'économiser l'énergie s'accroît, c'est que les textes de physique ne traitent pas des concepts de disponibilité et d'efficacité de second ordre. Les exemples donnés ci-dessus veulent suggérer une façon d'insérer dans des cours de physique au niveau secondaire, un enseignement d'une utilisation efficace de l'énergie.

## BIBLIOGRAPHIE

K. FORD, G. ROCHLIN, A. ROSENFLED, M. ROSS et R. SOCOLOW - (Éd.) 1975 - *Efficient use of energy*, AIP Conf. Proc. 25 (New-York : American Institut of Physics).

S. SGRIGNOLI et L. VIGLIETTA - (1984), *Il problema dell'energia : Efficienza nell'uso dell'energia*, Zanichelli, Bologna.

L. VIGLIETTA - (1985), «*Science-Technologie-Société : un exemple d'approche dans l'enseignement secondaire*», in A. Giordan, J.- L. Martinand (Éd.), *Éducation Scientifique et Formation Professionnelle*, Actes VII, Paris : 235-240.

L. VIGLIETTA - (1989), «*La seconda Legge delle Termodinamica*», *La Fisica nella Scuola*, XVII, IR : 5-43.

L. VIGLIETTA - (1989), «*Teaching efficient use of energy*», in G. Marx (Éd.) *Energy alternatives*, Eotvos University, Budapest : 38-43.

L. VIGLIETTA - (1990), «*Efficiency' in the teaching of energy*», *Physics Education*, N.25 : 317-321.

L. VIGLIETTA - (1990), «*A more "efficient" approach to energy education*», *International Journal of Science Education*, vol. 12, N.5 : 491-500.

L. VIGLIETTA - (1990), *Il Risparmio dell'energia*, *Collana Quaderni Scuola-Energia*, Le Monnier, Firenze.