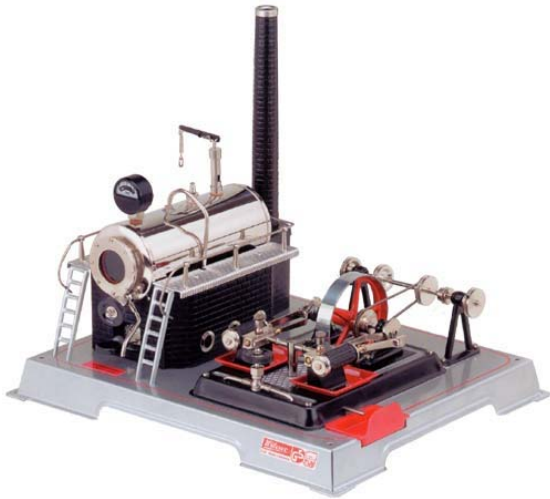


Mesure du rendement d'une machine à vapeur.



Rappels :

Le **rendement** N est le rapport entre l'énergie utile (fournie par la machine) et l'énergie motrice (fournie à la machine).

C'est aussi le rapport entre la puissance utile et la puissance motrice, et c'est sous cette forme qu'on va le mesurer.

$$N = \frac{P_{ut}}{P_{mot}}$$

La puissance P est le rapport entre l'énergie w et le temps t :

$$P = \frac{w}{t}$$

Exemples :

Si une machine fournit une énergie de 12 Joule et que pour cela on lui fournit une énergie de 16 J, elle a un rendement de 0.75 . On peut aussi mettre ce chiffre en % et dire 75 %.

Si cela se fait en 2 secondes, la puissance utile est de 6 Watt et la puissance motrice de 8W. Le rendement est évidemment le même.

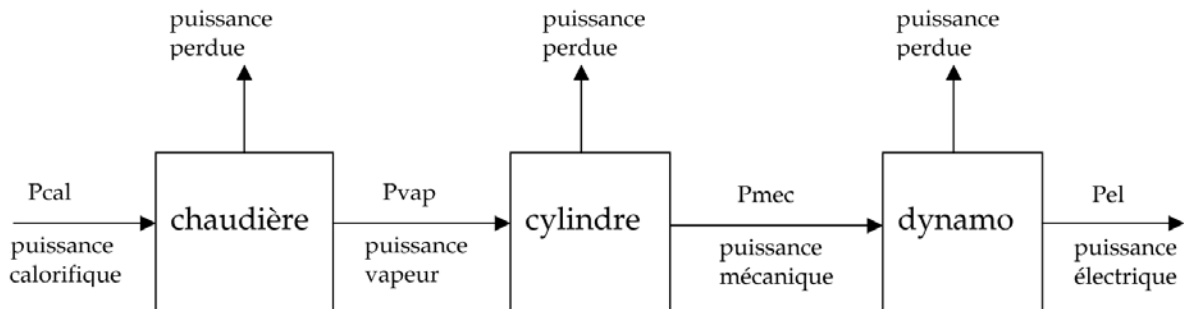
Rendements d'une machine à vapeur.

Une machine à vapeur est constituée d'une **chaudière**, qui utilise l'énergie calorifique (**chaleur**) du combustible pour en faire de l'énergie **vapeur** par vaporisation de l'eau.

Puis l'énergie **vapeur** entre dans le **cylindre** pour y être transformée en énergie **mécanique**.

Enfin, l'énergie **mécanique** peut être transformée en énergie **électrique** par une **dynamo**.

Puissances en jeu



Symboles :

Puissance calorifique (chaleur) : P_{cal}

Puissance vapeur : P_{vap}

Puissance mécanique : P_{mec}

Puissance électrique : P_{el}

Rendements :

Rendement global :
$$N_{gl} = \frac{P_{el}}{P_{cal}}$$

Rendement de la chaudière :
$$N_{ch} = \frac{P_{vap}}{P_{cal}}$$

Rendement du cylindre :
$$N_{cy} = \frac{P_{mec}}{P_{vap}}$$

Rendement de la dynamo :
$$N_{dy} = \frac{P_{el}}{P_{mec}}$$

Mesures :

Les mesures sont des évaluations des puissances à l'entrée et à la sortie de chaque organe.

On mesurera donc P_{el} , P_{cal} , P_{vap} et P_{mec} .

On peut se limiter à l'évaluation du rendement global de la machine. Dans ce cas on devra mesurer uniquement P_{el} et P_{cal} , ce qui est relativement simple. C'est la raison pour laquelle on accouple la machine à une dynamo électrique, ce qui permet d'évaluer la puissance utile.

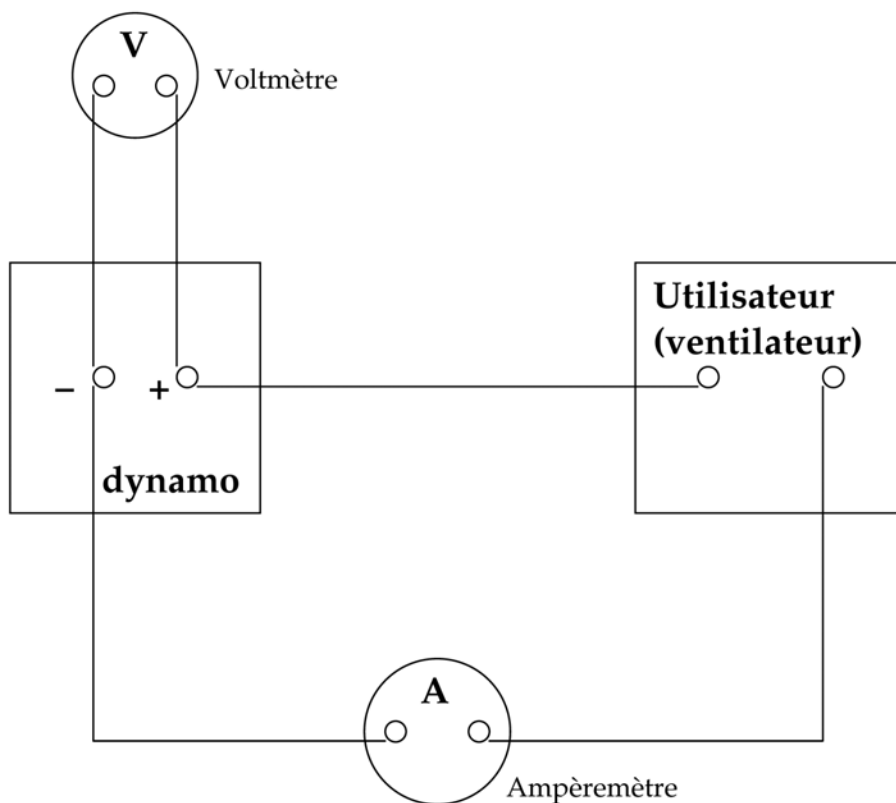
On peut aller plus loin et mesurer P_{vap} . L'opération est encore assez simple et permet de trouver le rendement de la chaudière.

Enfin il est possible de mesurer P_{mec} , ce qui permet d'évaluer les rendements de tous les organes. Cette mesure est cependant difficile pour des élèves et nécessite un stroboscope.

Mesure de la puissance électrique :

La dynamo entraînée par la machine est à connecter à un utilisateur électrique (par exemple un petit ventilateur).

Puis les appareils de mesure électrique (Ampèremètre et Voltmètre) sont à connecter sur le circuit (voir dessin). La mesure de la puissance électrique fournie par la dynamo est alors fort simple : c'est le produit de l'intensité (en Ampères) mesurée par l'Ampèremètre et de la tension (en Volts) mesurée par le Voltmètre. Ce produit est directement la puissance P_{el} en Watt.



Mesure de la puissance calorifique :

C'est la mesure du dégagement de chaleur du combustible, à diviser par le temps qu'il a mis pour être dégagé.

Il s'agit de peser le combustible et de multiplier cette masse par le pouvoir calorifique de la matière employée. On divise ensuite ce produit par le temps mis pour le brûler.

Concrètement, si on a des plaques de « esbit » (appelé aussi « meta »), on pèse les plaquettes avant de les introduire dans le panier de la chaudière.

Le pouvoir calorifique L du esbit est de 20 000 J/g. On multiplie donc cette valeur par la masse m d'esbit en grammes, puis on divisera cette valeur par le temps de combustion (en secondes). Il s'agira donc de prendre le temps à l'allumage des plaquettes et à leur extinction (ce temps correspond environ au moment où la machine baisse nettement de puissance). La soustraction des deux temps en secondes est donc à utiliser comme diviseur t.

Algébriquement :
$$P_{cal} = \frac{m \cdot L}{t} \quad (\text{le résultat est en Watt})$$

Mesure de la puissance vapeur.

L'énergie contenue dans la vapeur est égale à la masse de vapeur produite multipliée par l'énergie de vaporisation par gramme d'eau.

On pèse donc la machine entière avant et après l'expérience. La différence M_{vap} (en grammes) est égale à la masse de vapeur produite (ou d'eau vaporisée).

On multiplie par l'énergie de vaporisation d'un gramme d'eau C_{vap} (chaleur latente de vaporisation) qui est de 2260 Joules/gramme.

Pour obtenir la puissance vapeur, on divise ce produit par le temps t' qui a été mis pour produire cette vapeur (en secondes). Ce temps résulte de la soustraction du temps de fin de fonctionnement de la machine (déjà mesuré pour la puissance calorifique) auquel on soustrait le temps de démarrage de la machine (et non le temps d'allumage du combustible). En effet, le début de production de la vapeur correspond pratiquement au démarrage, et la fin de production au ralentissement net de la machine.

Lors du pesage de la machine entière, seule l'eau qui est dans la chaudière doit faire la différence. Il s'agit donc de faire attention à peser la machine dans les mêmes conditions. On fera attention à la peser chaque fois sans le combustible et sans une accumulation d'eau de condensation dans le bac d'échappement.

$$P_{vap} = \frac{M_{vap} \cdot C_{vap}}{t'}$$

Mesure de la puissance mécanique.

Matériel:

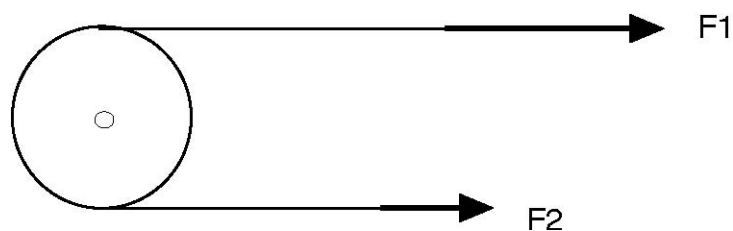
- 2 dynamomètres
- 1 brin de cordon nylon fin
- 1 stroboscope

Déroulement:

- Un rayon du volant de la machine est marqué d'un repère blanc.
- Lorsque la machine fonctionne de façon régulière, mesurer la vitesse de rotation n à l'aide d'un stroboscope.
- Découpler la transmission d'énergie en enlevant la courroie reliant la poulie à la dynamo. La machine s'emballe.
- Ralentir la machine jusqu'à son régime précédent en la freinant à l'aide d'un cordon passé sur la poulie et tendu à l'aide de deux dynamomètres (voir figure). Tendre les dynamomètres jusqu'à l'obtention du nombre de tours précédemment mesuré.
- Noter:
la vitesse de rotation n en (tours/seconde)
l'indication des deux dynamomètres, $F1$ et $F2$ en (Newton)
le diamètre D de la gorge de la poulie en mètres .

Calculs:

La puissance mécanique est : $P_{mec} = (F1 - F2) \cdot D \cdot \pi \cdot n$



Rendement global de la machine .

Il suffit d'effectuer la division :
$$Ngj = \frac{Pel}{Pcal}$$

Le chiffre obtenu est forcément inférieur à 1. On peut le mettre en% par une multiplication par 100.

Ne pas s'étonner, s'il est extrêmement bas ! Les raisons en sont discutées dans les lignes qui suivent.

Rendements des différents organes.

Les rendements partiels sont à calculer à l'aide des formules énoncées précédemment, dans lesquelles on introduit les mesures des puissances effectuées.

Critique des résultats.

Les différents rendements sont étonnants et permettent une réflexion très fructueuse. Il est clair qu'aucun rendement ne peut excéder 1 (ou 100 %).

Les rendements sont ceux d'un jouet et donc ceux d'une machine très simple et bon marché.

Pour la chaudière on obtient rarement mieux que du 50%.

Pour la dynamo on a de l'ordre de 30%.

Le grand étonnement vient du rendement du cylindre. L'ordre de grandeur est de quelques pour mille !

L'explication tient en deux arguments, fort instructifs :

- 1) Une machine thermique, qui transforme l'énergie calorifique en énergie mécanique, est soumise à un rendement dont le maximum théorique est le rendement de Carnot. Celui-ci est d'autant plus faible que la différence de température entre la partie chaude de la machine (ici environ 100°) et la partie froide (température du local, environ 20°) est faible. On n'a donc qu'environ 80° d'écart entre chaud et froid, alors que les centrales thermiques modernes ont plusieurs centaines de degrés. Malgré cela elles n'atteignent que des rendements de 30% à 40%.
- 2) Le cylindre d'une machine jouet n'est pas assez perfectionné pour utiliser au mieux la décompression de la vapeur. Beaucoup d'énergie passe dans une décompression à l'échappement. Cet aspect est pris en compte de façon optimale dans les vraies centrales thermiques qui ne fonctionnent plus avec des cylindres, mais avec des turbines.

Le rendement global est évidemment encore inférieur au rendement du cylindre, puisque les pertes dans la chaudière et dans la dynamo contribuent à l'abaisser ! En fait le rendement global est le produit des rendements de tous les organes (non exprimés en % !)