

Les performances moteur

Objectifs :

L'élève devra être capable de :

- Définir et calculer un rendement global du moteur ;
- Citer les paramètres influents sur le rendement global ;
- Définir : couple effectif, travail effectif, puissance effective ;
- Etablir les relations et calculer W_{eff} et P_{eff} ;
- Etablir la relation entre C_{eff} , C_{res} et N moteur.

Notion de rendement

Définition

- Efficacité de quelqu'un ou quelque chose dans le travail ;
- Rapport de l'énergie (ou d'une autre grandeur) fournie par une machine à l'énergie (ou à la grandeur correspondante) consommée par cette machine.

Intérêt

Le calcul du rendement permet de valider les performances d'un système et de le comparer à d'autres systèmes afin de déterminer son exploitation.

Ecriture

Le rendement est un nombre sans unité, inférieur ou égal à 1, qui peut être exprimé à partir de l'énergie, du travail ou de la puissance d'un système.

$$\text{Soit } h = \frac{\text{Energie fournie}}{\text{Energie consommée}}$$

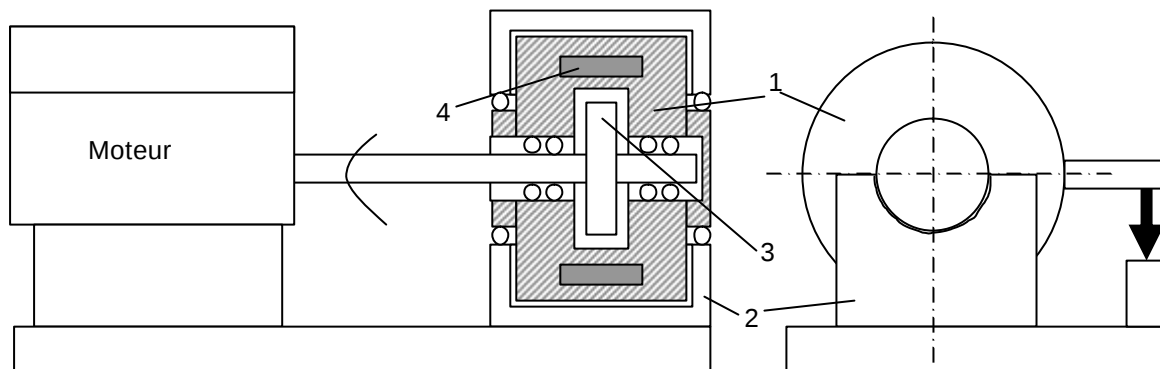
Généralement le rendement s'exprime en pourcentage dans ce cas il est inférieur ou égal à 100.

$$\text{Soit } h\% = h \cdot 100$$

Rendement global d'un moteur thermique

Condition d'essai moteur

Pour mesurer le couple, la puissance, la consommation spécifique ou le rendement d'un moteur, on utilise un frein électromagnétique qui utilise le même principe que les freins électromagnétiques de poids lourds. Ce frein mesure le couple moteur.



Le carter 1, monté en balance sur le bâti 2 afin de mesurer le couple, enferme le rotor 3. Le bobinage 4 est parcouru par un courant continu d'excitation créant un champ magnétique d'excitation aux extrémités des pôles du rotor. Le déplacement du rotor (entraîné par le moteur) crée un courant dit de Foucaud générant un champ magnétique dépendant du courant d'excitation. Ce champ magnétique s'opposant au champ d'excitation crée un effet de freinage dont le couple est mesuré par une jauge de contrainte par l'intermédiaire d'un levier de longueur L ($C_m = F \times L$). Les essais se font à régime constant.

Mesure du couple moteur par jauge de contrainte

Une jauge de contrainte est une résistance qui se déforme sous l'action d'une force. Sa résistance variant en fonction de la déformation, l'effort appliqué (donc le couple moteur) est transformé en signal électrique.

Mesure du régime moteur

Le régime moteur est mesuré à l'aide d'un capteur inductif.

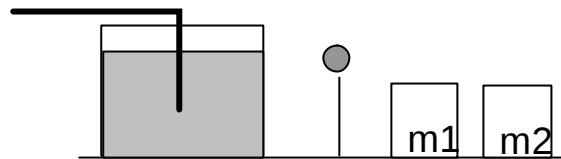
Remarque

Grâce au couple C et au régime N, on peut calculer la puissance P du moteur.

$$P = C \times \pi \times N / 30$$

Mesure et calcul de la consommation

On utilise le principe de la double pesée.



La masse de carburant dans le réservoir est plus importante que la masse totale des poids m1 et m2. Le moteur consommant du carburant l'aiguille de la balance va se déplacer jusqu'à un repère fixe. A ce moment, on enlève une masse et on lance le chronomètre. La balance bascule du côté réservoir et on attend que l'aiguille se déplace à nouveau jusqu'au repère pour arrêter le chronomètre (pendant le temps t, le moteur a consommé la masse de carburant équivalente à la masse retirée). On a relevé un débit massique de carburant (g/s).

Le motoriste s'intéresse à la consommation spécifique Cse qui est le débit de carburant par rapport à la puissance du moteur. La Cse, exprimée en g/kW.h, permet de comparer des moteurs complètement différents.

$$Cse = \frac{\frac{m}{t} \times 3600}{\frac{\pi N}{30} \times \frac{C}{1000}} \quad \text{g/h} \quad \text{--- kW}$$

Connaissant les caractéristiques du carburant (PCI), on peut calculer le rendement global η_g du moteur :

$$\eta_g = \frac{P_m}{P_a} = \frac{\frac{\pi N}{30} \times C}{\frac{m}{t} \times PCI}$$

Remarque : La Cse et le η_g sont liés : $Cse = k \times \frac{1}{\eta_g}$

Le taux de remplissage

C'est le rapport entre la masse de mélange (air + carburant) admis sur la masse de mélange théoriquement admise. Le débit d'air admis est mesuré dans la pipe d'admission à l'aide d'un anémomètre à fil chaud. Un fil est chauffé par un courant ($U = RI$), l'air refroidit le fil et modifie ses caractéristiques. Plus la vitesse de l'air est élevée, plus le fil se refroidit.

Autres relevésTempératures :

Liquide de refroidissement ;
Huile moteur ;
Echappement ;
Catalyseur, ...

Pressions :

Tubulure admission ;
Chambre de combustion ;
Huile, ...

Polluants :

CO ;
CO₂ ;
NO_x ;
HC.

Conclusion

Un banc de puissance permet de relever les caractéristiques d'un moteur et de les modifier si l'équipement le permet :

- Cartographie d'injection ;
- Cartographie d'allumage ;
- Calage de la distribution ;
- ...

Et cela pour chaque plage de régime et pour chaque cas de charge (la charge étant l'ouverture du papillon des gaz).

Les bancs sont actuellement informatisés par l'intermédiaire d'un PC. Le couple, le régime, les débits, les températures, les pressions, etc. sont relevés par une carte d'acquisition et un programme fait les calculs nécessaires (puissance, C_{se} , η_g , τ ...).

On y ajoute des sécurité (températures et pressions à ne pas dépasser). Pour les essais d'endurance (100 heures ou plus) ou de contrôle des polluants (cycles d'accélération, de maintien et de décélération), les bancs sont complètement automatisés.

Calcul d'un rendement à partir d'un essai moteur

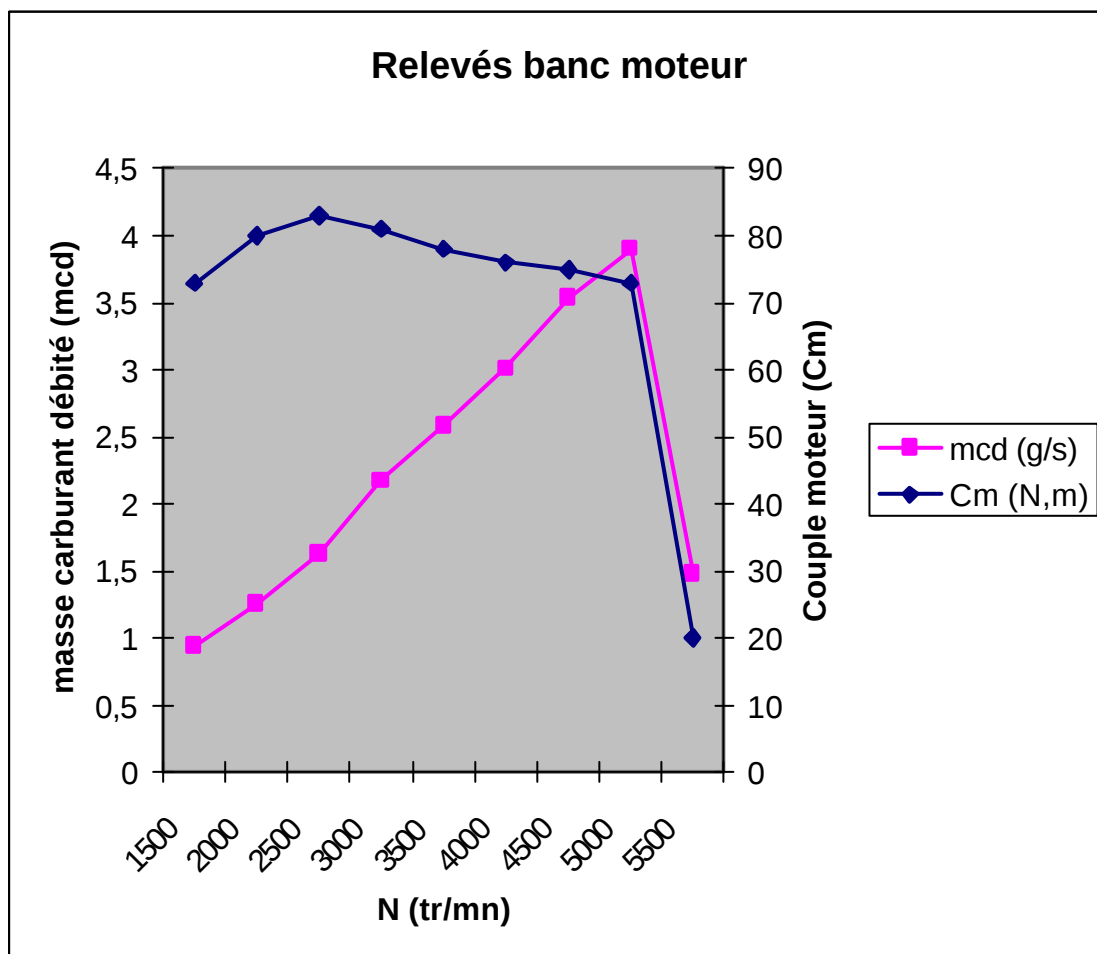
Application

A partir des courbes suivantes, relevées lors d'un essai au banc moteur, déterminer le rendement global maxi du moteur thermique diesel quatre temps, quatre cylindres avec $\rho_{\text{gazole}} = 0,85 \text{ g/cm}^3$ et $P_{ci_{\text{gazole}}} = 45000 \text{ J/g}$.

Méthode

Il est nécessaire de déterminer :

- 1) L'énergie, le travail ou la puissance d'entrée du système. Dans le cas des moteurs thermique on détermine la puissance potentiellement dégagée par le carburant en fonction de la masse introduite et de son pouvoir calorifique.
- 2) L'énergie, le travail ou la puissance en sortie du système. Dans le cas des moteurs thermique on détermine la puissance mécanique sortie vilebrequin en fonction de la fréquence de rotation du moteur et du couple transmissible.
- 3) Calculer le rapport de ces deux grandeurs afin de donner le rendement en %.



Expressions $P_m =$ $P_c =$ $\eta_g \% =$

N (tr/mn)	Cm (N.m)	Pm (W)	mcd (g/s)	Pc (W)	Rendement %
1500	73		0,94		
2000	80		1,26		
2500	83		1,63		
3000	81		2,18		
3500	78		2,58		
4000	76		3,01		
4500	75		3,54		
5000	73		3,9		
5500	20		1,48		

Conclusions

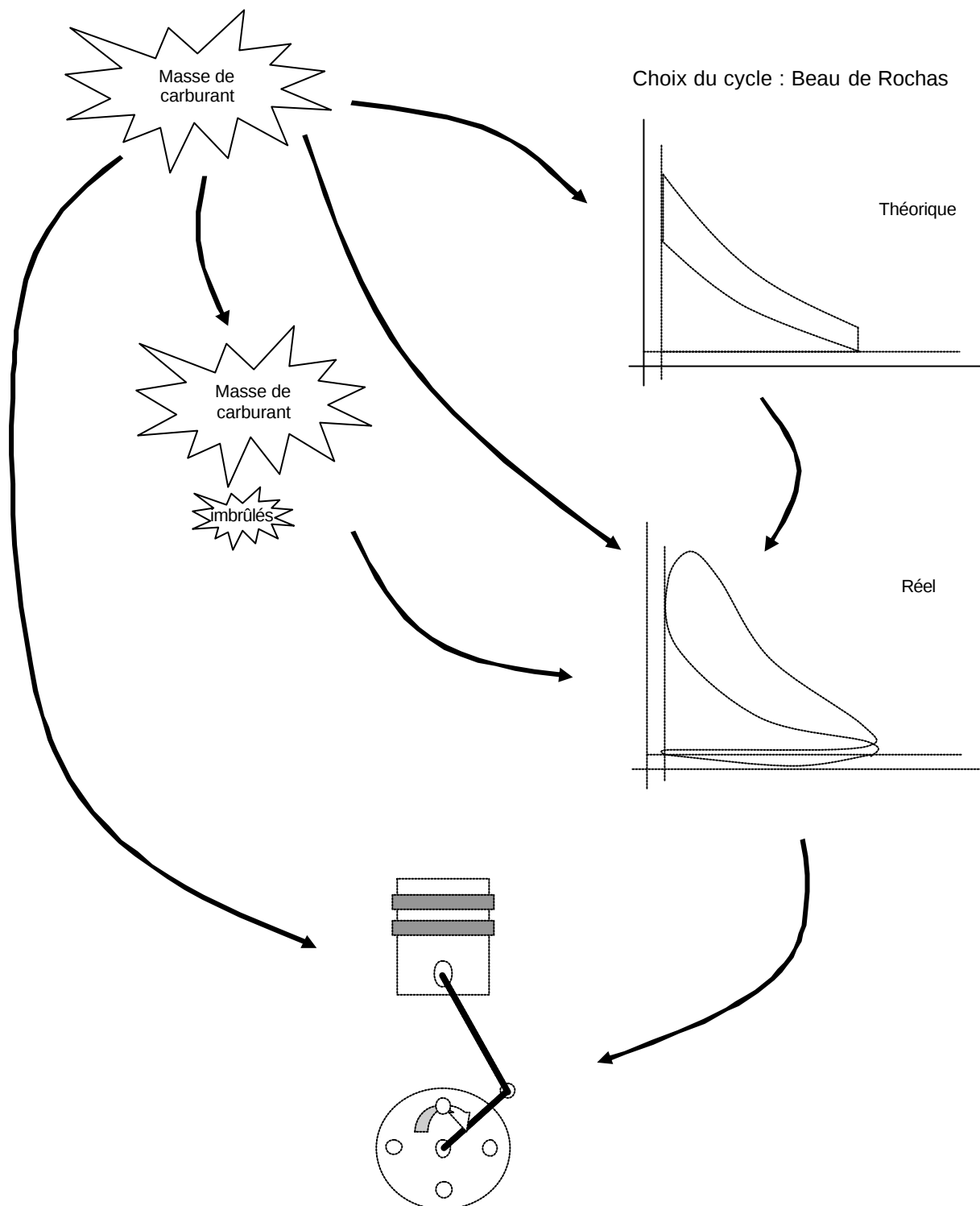
Pour déterminer les performances d'un moteur il faut mesurer trois paramètres :

1. N la fréquence de rotation ;
2. Cm le couple moteur fourni en N.m ;
3. mcd la masse de carburant débitée (introduite dans le moteur) en g/s.

On constate d'après cet essai moteur que le rendement maxi est de l'ordre de **25,6%** ce qui signifie que **74,4 % de l'énergie** introduite dans le moteur **n'est pas récupérée**. Cette énergie est soit consommée par le moteur soit offerte à l'environnement.

Paramètres influents sur le η_g

Représentation des différents rendements participants au rendement global



Définitions et expressions des différents rendements

Rendement thermodynamique théorique BdR

Définition : Il est associé au choix du cycle du moteur et à certaines hypothèse de fonctionnement. C'est le rapport entre l'énergie théoriquement disponible dans la masse de carburant et « l'utilisation théorique » (travail théorique) de cette énergie dans le cycle de Beau de Rochas.

Expression :

$$h_{thmo-th} = \frac{W_{thermo-théorique}}{m \times P_{ci}}$$

Rendement de combustion

Définition : C'est le rapport entre l'énergie réellement libérée dans le cylindre Q_r et l'énergie théoriquement disponible dans la masse de carburant.

Expression :

$$h_{comb} = \frac{Q_r}{m \times P_{ci}}$$

Rendement thermodynamique réel

Définition : C'est le rapport entre l'énergie réellement libérée dans le cylindre et « l'utilisation réelle » (travail réel) de cette énergie dans le cycle de Beau de Rochas.

Expression :

$$h_{thermo-réel} = \frac{W_{thermo-réel}}{Q_r}$$

Rendement de cycle

Définition : Il est l'image de « l'efficacité » du cycle de Beau de Rochas. C'est le rapport entre « l'utilisation théorique » (travail théorique) et « l'utilisation réelle » (travail réel) d'une énergie par le cycle de Beau de Rochas.

Expression :

$$h_{cycle} = \frac{W_{thermo-réel}}{W_{thermo-théorique}}$$

Rendement indiqué

Définition : C'est le rapport entre le travail réel disponible, après le cycle de Beau de Rochas, et l'énergie théoriquement disponible dans la masse de carburant.

Expression :

$$h_{indiqué} = \frac{W_{thermo-réel}}{m \times P_{ci}}$$

Remarque : $\eta_{indiqué} = \eta_{thermo-théorique \text{ BdR}} \times \eta_{cycle} = \eta_{combustion} \times \eta_{thermo-réel}$

Rendement organique

Définition : C'est l'image de l'efficacité de l'équipage mobile du moteur. C'est le rapport entre le travail disponible sur le piston et le travail disponible sur l'arbre moteur.

Expression :

$$\eta_{organique} = \frac{W_{effectif}}{W_{thermo-réel}}$$

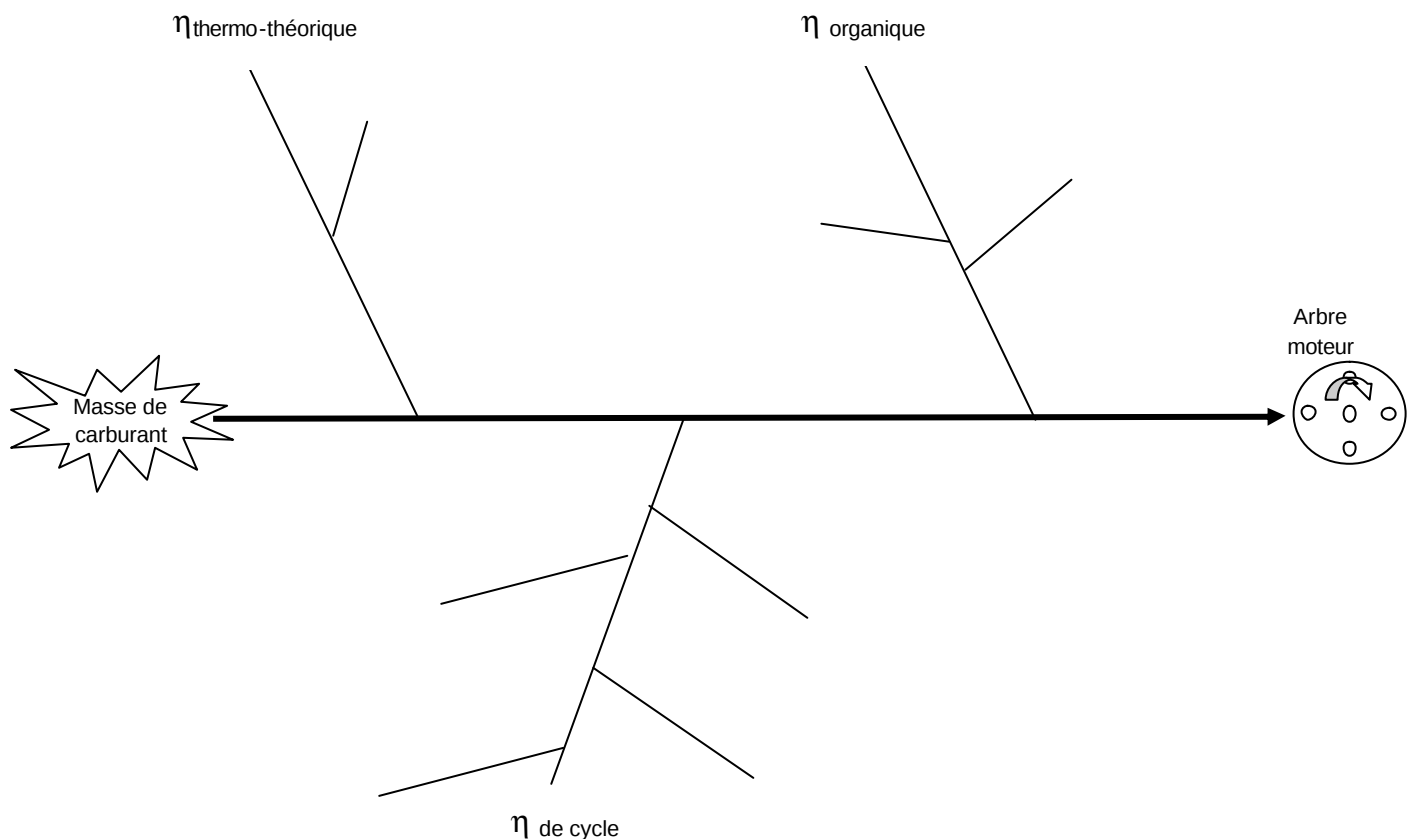
Rendement globale

C'est le rapport entre l'énergie théoriquement disponible dans la masse de carburant et le travail disponible sur l'arbre moteur.

Expression :

$$\eta_{global} = \frac{W_{effectif}}{m \times P_{ci}}$$

Remarque : $\eta_{global} = \eta_{indiqué} \times \eta_{organique}$

Association des paramètres influents**Diagramme Hishikawa (ou arrête de poisson)**

Transformation de l'énergie des gaz en énergie mécanique effective (notion de travail) :

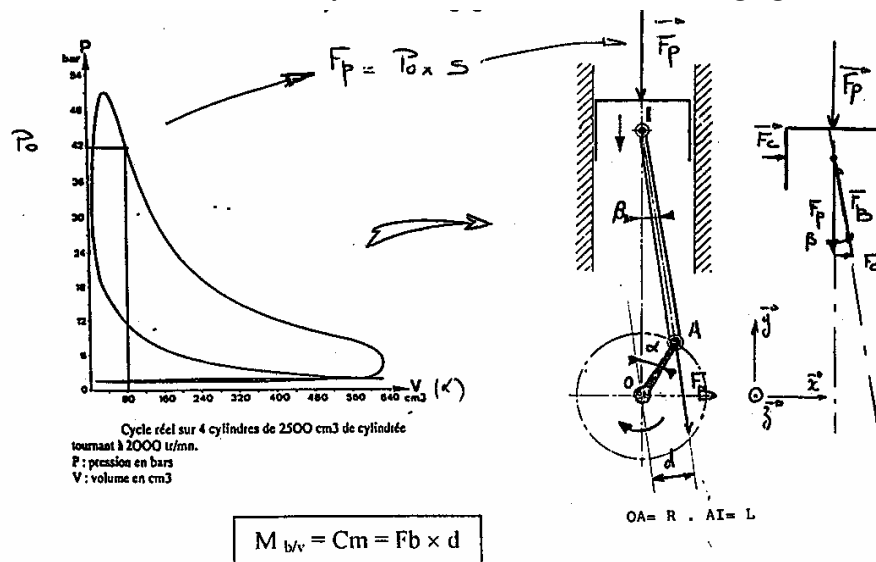
Principe de la transformation d'énergie

Pendant la combustion, les gaz sous pression dans le cylindre engendrent une force de poussée sur le piston. Cette force est transmise au vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle.

Le moment de cette force constitue le moment mécanique moteur qui fait tourner le vilebrequin : création de l'énergie mécanique moteur.

Ce qui est appelé couple moteur « C_m » est le moment de cette force de la bielle sur le vilebrequin.

Hypothèses : Masse des pièces et frottements négligés



Globalement, le couple mécanique moteur « C_m » dépend :

- Des caractéristiques géométriques du moteur : p , L bielle, S piston, R vilebrequin, ... ;
- Des paramètres de réglage moteur : distribution (remplissage), AA ;
- Des paramètres de fonctionnement moteur : charge (position papillon pour un moteur essence ou quantité gazole injectée pour un moteur diesel).

Définitions**Couple effectif**

Le couple effectif (C_{eff}) est le couple mécanique disponible en sortie vilebrequin, effectivement utilisable pour la propulsion du véhicule.

Le couple effectif est le résultat :

- + Des couples mécaniques moteur (multicylindres) ;
- + ou - Du couple d'inertie de l'embellage ;
- - Des couples de frottement de l'embellage et d'entraînement des organes auxiliaires (couples résistants).

Travail effectif

L'énergie mécanique moteur ou travail effectif (W_{eff}) est la combinaison du couple effectif et de l'angle de rotation du vilebrequin.

$$W_{\text{eff}} = C_{\text{eff}} \times \theta$$

unités : $W_{\text{eff}} \Rightarrow \text{Joules}$; $C_{\text{eff}} \Rightarrow \text{m.N}$; $\theta \Rightarrow \text{rad}$

Puissance effective

La puissance effective délivrée par le moteur (P_{eff}) est la combinaison du couple effectif et de la fréquence de rotation du vilebrequin.

$$P_{\text{eff}} = C_{\text{eff}} \times \omega = W_{\text{eff/cycle}} \times n$$

unités : $P_{\text{eff}} \Rightarrow \text{Watt}$; $C_{\text{eff}} \Rightarrow \text{m.N}$; $\omega = 2\pi \times n / 60$; $\omega \Rightarrow \text{rad/s}$;
 $W_{\text{eff}} \Rightarrow \text{Joules}$; $n \Rightarrow \text{Cycles / s}$.

Exercices

Soit un moteur ayant les caractéristiques suivantes :

$C_{\text{eff}} = 159 \text{ N.m}$ à 3000 tr/mn ;

$C_{\text{eff}} = 150 \text{ N.m}$ à 4000 tr/mn.

Calculer pour ces deux conditions de fonctionnement

Le travail mécanique fournit par le moteur en 10 tours.

La puissance effective de ce moteur.

Etude du moteur V6 biturbo AUDI

$C_{\text{eff}} = 320,8 \text{ N.m}$ à 5800 tr/mn

Calculer le W_{eff} pour 2 tours du vilebrequin.

En déduire le $W_{\text{eff/cycle}}$.

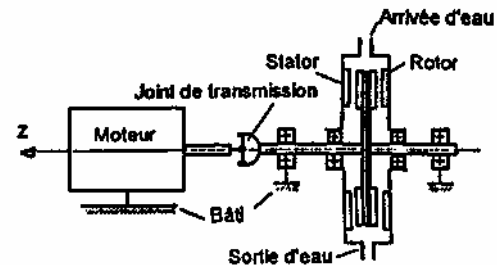
En déduire la P_{eff} du moteur à ce régime.

Vérifier votre résultat en calculant directement la P_{eff} à partir de C_{eff} et de N_{moteur} .

Relation COUPLE EFFECTIF COUPLE RESISTANT

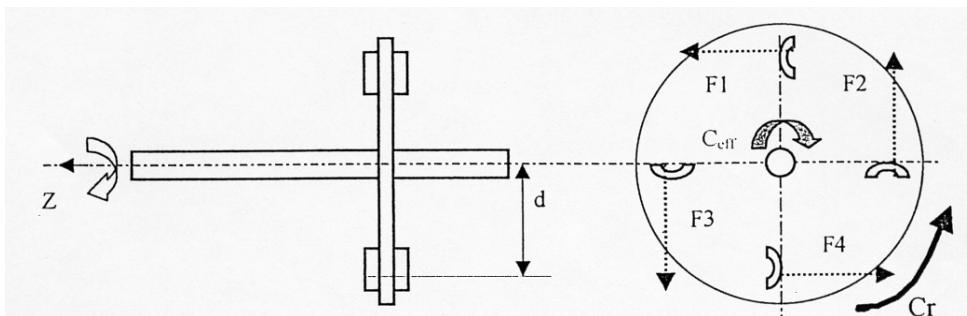
Expérience

Un moteur monté sur un bâti entraîne en rotation un arbre freiné à l'autre extrémité par un frein hydraulique. Le rotor lié à l'arbre est freiné dans sa rotation par l'eau située dans le frein. La valeur du couple résistant appliqué à l'arbre dépend de la quantité d'eau brassée à l'intérieur du frein. Cette quantité d'eau étant réglable, le couple résistant est réglable.



Isolons le rotor et l'arbre moteur

Hypothèses : - Poids négligés
- Frottements négligés au niveau des paliers.



On pose : $C_{res} = 8 \times F_i$

Si la fréquence de rotation est constante (ω constante) l'ensemble arbre+ rotor est à l'équilibre.

$$\sum M_o F_{ext/rotor} \cdot z = 0 \Rightarrow -C_{eff} + C_{res} = 0 \Rightarrow C_{eff} = C_{res}$$

Conclusion

- Quand le régime de rotation moteur est constant: le couple effectif produit par le moteur est égal au couple résistant appliqué au moteur :

$$\text{Si } \omega = \text{cste} \quad \text{D} \quad C_{eff} = C_{res}$$

- Si le couple effectif est supérieur au couple résistant : le régime moteur accélère :

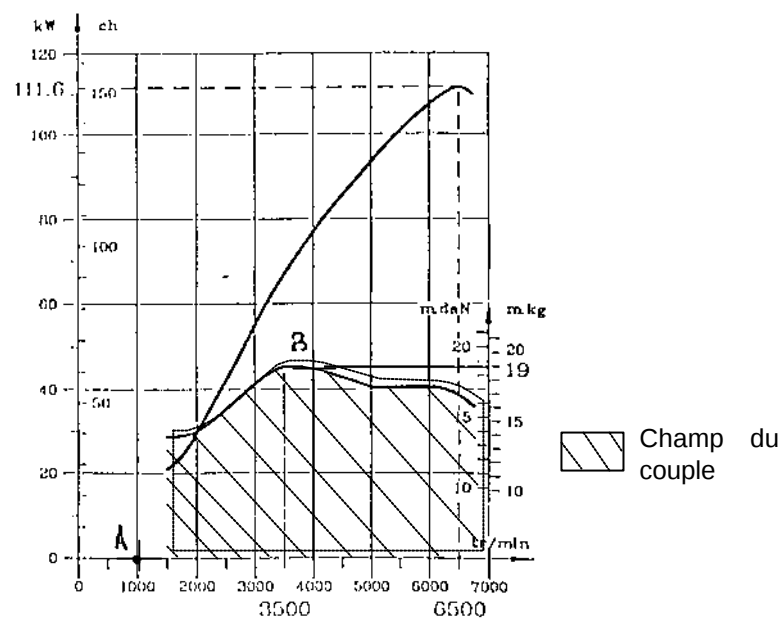
$$\text{Si } C_{eff} > C_{res} \quad \text{D} \quad \omega \text{ augmente}$$

- Si le couple effectif est inférieur au couple résistant : le régime moteur diminue :

$$\text{Si } C_{eff} < C_{res} \quad \text{D} \quad \omega \text{ diminue}$$

Applications

Moteur CITROEN RFY



Etude de la position « moteur débrayé »

Que vaut le couple effectif (C_{eff}) fourni par le moteur RFY lorsque le moteur est débrayé à 1000 tr/mn ?

Placer ce point de fonctionnement sur le champs de couple du moteur RFY (Point A)

Etude d'un point de fonctionnement

Que vaut le couple résistant appliqué au moteur RFY si celui ci est à pleine charge à régime stable de 4000 tr/mn ?