

LES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES MOTEURS

LA PUISSANCE

Couple moteur, régime moteur, puissance, banc de puissance

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *

LA PUISSANCE DES MOTEURS

Avez-vous déjà feuilleté le catalogue d'un grand constructeur automobile ?

Chaque modèle y est décliné en plusieurs versions, les différences portant essentiellement sur la puissance du moteur.

Le choix est vaste : 100 ch, 120 ch, 150 ch...

Que signifient ces chiffres ? Qu'est-ce que la puissance ? Comment la calculer ? Comment doit-on l'exprimer ? Quelle est la relation entre la puissance et la vitesse ? Voici quelques éléments de réponses...

Puissance et énergie

D'une manière générale, la puissance désigne la production, la consommation ou la transformation d'énergie par unité de temps.

Pour une automobile, cette énergie est d'abord de nature chimique (combustion du carburant), puis de nature cinétique (accélération sur route horizontale) ou gravitationnelle (route en déclivité parcourue à vitesse constante).

La puissance d'un moteur thermique se rapporte donc à l'énergie délivrée par unité de temps, mais aussi à l'énergie consommée sous forme de carburant dans le même laps de temps (voir dossier ADILCA "*combustion des carburants*").

Rapport poids / puissance

La puissance conditionne les accélérations, l'aptitude en côte et, accessoirement, la vitesse de pointe des véhicules terrestres.

L'accélération ou l'aptitude en côte consistant à communiquer une énergie (énergie cinétique dans le premier cas, énergie gravitationnelle dans le second) à une masse en un laps de temps donné, cela signifie que la puissance d'un moteur doit s'apprécier au regard de la masse du véhicule.

Autrement dit, plus que la puissance brute, c'est le rapport poids / puissance qui est le véritable indicateur de performance⁽¹⁾.

Trois exemples

Premier exemple : on compare deux voitures, l'une de masse 1 000 kilogrammes et de puissance 100 ch, l'autre de masse 1 500 kilogrammes et de puissance 150 ch ; le

rapport poids / puissance (ici égal à 10 kilogrammes par cheval) montre que leurs performances en accélération ou en côte seront très voisines, toutes conditions égales par ailleurs (résistance au roulement et résistance de l'air).

Deuxième exemple : un camion de masse 40 tonnes qui accélère de 0 jusqu'à 36 km.h⁻¹ en 10 secondes mobilise une puissance moyenne de 270 ch. La même variation de vitesse réalisée en 20 secondes ne mobiliserait qu'une puissance moyenne de 135 ch.

Troisième exemple : un camion de masse 40 tonnes qui escalade une rampe de 10 % à la vitesse constante de 36 km.h⁻¹ mobilise une puissance instantanée de 540 ch. La même rampe escaladée à 18 km.h⁻¹ ne mobiliserait qu'une puissance instantanée de 270 ch (on néglige la résistance au roulement et la résistance de l'air).

Naturellement, la contrepartie de la puissance sollicitée est une consommation instantanée en rapport avec les performances demandées.



© association adilca reproduction interdite

La puissance doit s'apprécier au regard de la masse de la voiture, ici 200 ch pour 1 160 kg, soit un rapport poids/puissance égal à 5,8 kg/ch ; pour bénéficier d'un rapport aussi favorable, une voiture de masse 1 800 kg devrait être équipée d'un moteur de 310 ch...

Définition et unités

L'unité internationale de puissance est le *watt* (symbole **W**) ou le *kilowatt* (symbole **kW**) : un watt se définit comme un travail d'un joule effectué en une seconde.

Concrètement :

- Un watt est la puissance nécessaire pour déplacer une force de 1 N sur une distance de 1 mètre en 1 seconde.

- Un watt est la puissance nécessaire pour lever une masse de 100 grammes (0,1 kg) à un mètre de hauteur en une seconde ($g \sim 10 \text{ m.s}^{-2}$).

Une définition équivalente s'applique aux moteurs d'automobiles, la puissance étant le produit d'un couple (exprimé en **Nm**) par une vitesse de rotation (exprimée en **rad.s⁻¹**) :

- Un watt est la puissance d'un moteur qui délivre un couple de 1 Nm à une vitesse de rotation de 1 radian par seconde⁽²⁾.

Expression de la puissance

Il est encore très courant d'exprimer la puissance des moteurs en *cheval-vapeur* (symbole ch), en référence aux capacités physiques de l'animal.

En effet, dans un saut d'obstacle, un bon cheval est supposé pouvoir lever la masse d'un homme de 75 kilogrammes à un mètre de hauteur en une seconde.

Un rapide calcul montre que cela correspond à une puissance très exactement égale à 735,5 watts. Dès lors, la conversion des unités est très facile.

Mesure ou calcul ?

Comment détermine-t-on la puissance d'un moteur ? On ne peut jamais la mesurer, on ne peut que la calculer, en combinant les valeurs de couple moteur et de vitesse de rotation relevées sur un banc de puissance⁽³⁾.

Passer un moteur au banc consiste à l'accoupler à un disque équipé d'un frein et d'un compte-tours : une fois le moteur lancé à plein régime, l'opération consiste à actionner progressivement le frein jusqu'à ce que la vitesse de rotation du moteur soit stabilisée, la commande des gaz restant grande ouverte.

En effet, une vitesse stabilisée signifie que le couple moteur est exactement égal au couple de freinage : il suffit alors de mesurer la force de freinage et la longueur du rayon sur lequel elle s'applique pour en déduire la valeur du couple moteur (voir dossier ADILCA "*couple moteur*").

Autrement dit, ce qu'on appelle à tort un "banc de puissance" ne sert qu'à mesurer le couple maximum et la manière dont il évolue en fonction du régime moteur. *In fine*, la puissance résulte d'un calcul, c'est le produit du couple par la vitesse de rotation⁽⁴⁾.

Quelques idées reçues sur la puissance...

Plus que la puissance, c'est le couple moteur et en particulier le régime auquel il est disponible qui est la caractéristique essentielle des moteurs d'automobiles.

Cette confusion entre puissance et couple est à l'origine de nombreux malentendus.

Ainsi la puissance revendiquée par les constructeurs est toujours une valeur maximale, disponible uniquement au régime indiqué (“zone rouge”), et à condition que la commande des gaz soit grande ouverte (“*ped au plancher*”). Deux conditions rarement réunies, ou rarement bien longtemps !

Dans toute autre situation, une partie seulement de la puissance annoncée est disponible, mais jamais la totalité.

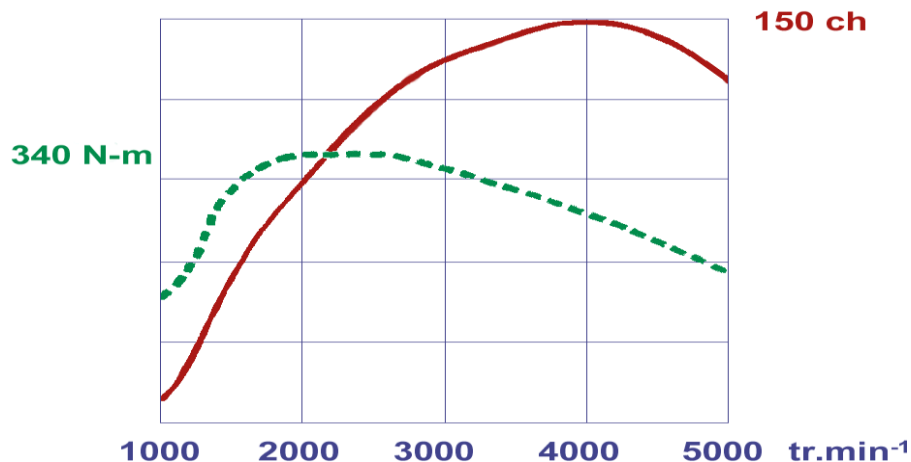
En d’autres termes, les conducteurs qui se contentent de régimes moteur intermédiaires ne verront jamais la couleur des chevaux annoncés.

Des chiffres qui parlent...

Prenons comme exemple le moteur Renault 2.0 DCI 150 dont les caractéristiques sont les suivantes :

- puissance maximale 110 kW (150 ch) à 4 000 tr.min⁻¹
- couple maximal 340 Nm à 2 000 tr.min⁻¹

Un rapide calcul nous montre qu’au régime de couple maximal (2 000 tr.min⁻¹), la puissance disponible n’est que de 71 kW (97 ch). Et encore ! À condition que le conducteur garde le pied au plancher. Si ce n’est pas le cas, une partie seulement de ces 97 ch seront au travail...



© association adilca reproduction interdite

Courbes de couple et de puissance du moteur Renault 2.0 DCI 150 (d’après un document Renault).

Mais un autre calcul tout aussi rapide nous montre qu’au régime de puissance maximale (4 000 tr.min⁻¹), le couple moteur disponible n’est plus que de 260 Nm. Entre puissance et couple, il faut choisir.

Puissance et transmission...

La transmission a principalement pour rôle de multiplier le couple moteur par une réduction de la vitesse des arbres de roues, et inversement. La puissance étant le produit d'un couple par une vitesse de rotation, il est facile de vérifier qu'elle reste toujours indépendante du rapport de transmission ⁽⁵⁾.

Autrement dit, si on néglige les pertes dues à la rotation de la transmission (boîte de vitesses, arbre de transmission, différentiel), la puissance disponible aux roues motrices est toujours strictement égale à celle disponible en bout de vilebrequin et ce, quels que soient le régime moteur et le rapport de transmission : cette valeur ne dépend que de l'ouverture de la commande des gaz.

Une curieuse loi...

Une autre définition de la puissance est l'énergie nécessaire pour maintenir une vitesse constante.

En effet, tout véhicule terrestre (bicyclette, voiture, train...) circulant à vitesse stabilisée sur un terrain horizontal (conditions dans lesquelles il n'y a pas de variation d'énergie cinétique ou gravitationnelle) doit mobiliser une certaine puissance correspondant au travail instantané absorbé par les deux forces résistantes : la résistance au roulement et la résistance de l'air.

Or, dans ce cas précis, la puissance s'exprime comme le produit d'une force par une vitesse, tandis que la résistance de l'air est une grandeur qui varie comme le *carré de la vitesse* (voir dossier ADILCA "aérodynamique"). On en déduit que la puissance nécessaire pour vaincre la résistance de l'air varie comme le *cube de la vitesse*.

Concrètement, ça signifie que cette résistance absorbe 8 fois plus de puissance à 100 km.h^{-1} qu'à 50 km.h^{-1} , et 27 fois plus à 150 km.h^{-1} qu'à 50 km.h^{-1} !

Puissance et vitesse...

Quelques rapides calculs confirment en effet que de faibles différences de vitesse induisent en réalité de grandes différences de puissance.

Ainsi, une voiture de tourisme ⁽⁶⁾ qui circule sur une route horizontale à la vitesse stabilisée de 110 km.h^{-1} mobilise une puissance d'environ 35 ch. À 130 km.h^{-1} , cette même voiture devra mobiliser une puissance d'environ 50 ch, soit 50 % de plus pour un gain de 20 km.h^{-1} seulement.

Autre exemple : un camion ⁽⁷⁾ qui circule sur une route horizontale à la vitesse stabilisée de 80 km.h^{-1} mobilise une puissance d'environ 120 ch. À 90 km.h^{-1} , ce camion

devra mobiliser une puissance d'environ 160 ch, soit 1/3 de plus pour un gain de 10 km.h^{-1} seulement.

Conclusions

La puissance peut se définir comme la vitesse avec laquelle l'énergie est produite ou consommée.

La puissance revendiquée par les constructeurs et figurant dans les catalogues est une valeur maximale qui n'est pratiquement jamais sollicitée par les conducteurs.

En revanche, la puissance nécessaire pour maintenir une vitesse stabilisée est une grandeur déterminante puisqu'elle varie approximativement comme le cube de la vitesse.

Cela signifie que, plus on souhaite aller vite, plus il faut mobiliser de puissance, mais dans une proportion sans rapport avec le gain de temps obtenu.

(1) *Du point de vue des définitions normalisées, il s'agit en réalité du rapport masse / puissance.*

(2) *Le newton-mètre (symbole **Nm**) se définit comme le couple produit par une force de 1 N s'exerçant sur un bras de levier d'une longueur de 1 mètre ; le radian (symbole **rad**) se définit comme l'angle au centre interceptant un arc de longueur égale au rayon du cercle ; 1 tour = 360 degrés = 2π radians = 6,28 radians, d'où 1 radian = 57,3 degrés.*

(3) *La distinction entre mesure et calcul est fondamentale en physique, et notamment en mécanique industrielle : une mesure provient de la lecture d'un instrument étalonné, tandis qu'un calcul consiste en une combinaison de mesures. Par exemple : on mesure une longueur, une largeur ou une hauteur, on calcule une surface, un volume, etc.*

(4) *Le couple moteur étant mesuré en bout de vilebrequin, cela signifie que les valeurs de couple et de puissance mentionnées sur les notices techniques sont les plus avantageuses puisqu'elles ne tiennent pas compte de la résistance liée à la rotation de la transmission (boîte de vitesses, arbre de transmission, différentiel, arbres de roues). Cette résistance absorbe environ 10 % de la puissance initiale.*

(5) *La puissance étant définie comme le rapport entre l'énergie et le temps, et comme il ne peut y avoir création ou disparition d'énergie, le principe général de conservation s'applique aussi à la puissance. Un principe souvent compris à l'envers (comme d'autres en physique...), car c'est justement en vertu de ce principe que la transmission peut générer une multiplication du couple proportionnelle à la réduction de vitesse, et inversement. Autrement dit, à puissance constante, la transmission autorise la répartition de l'énergie, non pas dans le temps, mais dans l'espace.*

(6) *Caractéristiques de la voiture : maître-couple $2,5 \text{ m}^2$; C_x 0,35 ; résistance au roulement (transmission incluse) 350 N, valeur supposée identique à 110 et à 130 km.h^{-1} .*

(7) *Caractéristiques du camion : maître-couple 10 m^2 ; C_x 0,9 ; ensemble monté sur 12 pneumatiques supportant chacun une charge moyenne de 3,3 tonnes et générant une résistance au roulement (transmission incluse) de 25 N/t, valeur supposée indépendante de la vitesse.*

RELATIONS ENTRE GRANDEURS

Énergie cinétique :

$$E = \frac{1}{2} M \cdot V^2$$

E : énergie cinétique, exprimée en **J**

M : masse, exprimée en **kg**

V : vitesse, exprimée en **m.s⁻¹**

cohérence des unités : $E = \text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = \text{J}$

Exemple : calculons l'énergie cinétique d'une voiture de masse 1 500 kg circulant à la vitesse de 30 m.s⁻¹ (108 km.h⁻¹) :

$$E = \frac{1}{2} \times 1\,500 \times 30^2 = 750 \times 900 = 675\,000 \text{ J}$$

Énergie gravitationnelle :

$$E = M \cdot g \cdot H$$

E : énergie gravitationnelle, exprimée en **J**

M : masse, exprimée en **kg**

g : accélération gravitationnelle terrestre ($g \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

H : hauteur, exprimée en **m**

cohérence des unités : $E = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = \text{J}$

Exemple : calculons l'énergie nécessaire pour lever une masse de 1 500 kg à 1 000 m de hauteur :

$$E = 1\,500 \times 10 \times 1\,000 = 15\,000\,000 \text{ J}$$

Puissance :

$$B = E / T$$

B : puissance, exprimée en **W**

E : énergie ou travail, exprimé en **J**

T : temps, exprimé en **s**

cohérence des unités : $B = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} = \text{W}$

Exemple : calculons la puissance nécessaire pour produire une énergie cinétique de 600 000 J en 1 minute (60 secondes) :

$$B = 600\,000 / 60 = 10\,000 \text{ W} = 10 \text{ kW}$$

Puissance d'un moteur :

$$B = C \cdot \omega$$

B : puissance, exprimée en **W**

C : couple, exprimé en **Nm**

ω : vitesse de rotation, exprimée en **rad.s⁻¹**

cohérence des unités : $B = N.m \cdot s^{-1} = kg.m^{+1}.s^{-2} \cdot m^{+1} \cdot s^{-1} = kg.m^2.s^{-3} = W$
(le radian est une grandeur sans dimension)

Exemple : calculons la puissance d'un moteur délivrant un couple de 250 Nm au régime de 1 800 tr.min⁻¹ (30 tr.s⁻¹, soit 190 rad.s⁻¹) :

$$B = 250 \times 190 = 47\,500 \text{ W} = 47,5 \text{ kW}$$

Puissance absorbée par la vitesse :

$$B = F \cdot V$$

B : puissance, exprimée en **W**

F : somme des forces résistantes, exprimée en **N**

V : vitesse, exprimée en **m.s⁻¹**

cohérence des unités : $B = kg.m^{+1}.s^{-2} \cdot m^{+1}.s^{-1} = kg.m^2.s^{-3} = W$

Exemple : calculons la puissance absorbée par une force résistante de 500 N quand la voiture circule à la vitesse de 30 m.s⁻¹ (108 km.h⁻¹) :

$$B = 500 \times 30 = 15\,000 \text{ W} = 15 \text{ kW}$$

Puissance absorbée par une déclivité :

$$B = M \cdot g \cdot H / T$$

B : puissance absorbée par une déclivité, exprimée en **W**

M : masse, exprimée en **kg**

g : accélération gravitationnelle ($g \sim m.s^{-2}$)

H : hauteur, exprimée en **m**

T : temps, exprimé en **s**

cohérence des unités : $B = kg \cdot m^{+1}.s^{-2} \cdot m^{+1} \cdot s^{-1} = kg.m^2.s^{-3} = W$

Exemple : calculons la puissance nécessaire pour lever une masse de 1 500 kg à une hauteur de 1 000 m en 10 minutes (600 secondes) :

$$B = 1\,500 \times 10 \times 1000 / 600 = 25\,000 \text{ W} = 25 \text{ kW}$$

Conversion des unités :

1. Puissance

$$1 \text{ ch} = 735,5 \text{ W}$$

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ ch}$$

Exemple 1 : un moteur délivre une puissance de 200 ch ; exprimons cette puissance en kilowatts :

$$B = 200 \times 735,5 = 147\,000 \text{ W} = 147 \text{ kW}$$

Exemple 2 : un moteur délivre une puissance de 100 kW ; exprimons cette puissance en chevaux-vapeur :

$$B = 100 \times 1,36 = 136 \text{ ch}$$

2. Vitesse de rotation

$$1 \text{ radian} = 57,3 \text{ degrés} ; 1 \text{ tour} = 360 \text{ degrés} = 6,28 \text{ radians}$$

$$1 \text{ rad.s}^{-1} = 57,3 \text{ degrés par seconde} = 3\,428 \text{ degrés par minute} = 9,55 \text{ tr.min}^{-1}$$

$$1 \text{ tr.min}^{-1} = 6,28 \text{ rad.min}^{-1} = 0,105 \text{ rad.s}^{-1}$$

Exemple 1 : un moteur tourne au régime de 200 rad.s⁻¹ ; exprimons cette vitesse en tours par minute :

$$\omega = 200 \times 9,55 = 1\,910 \text{ tr.min}^{-1}$$

Exemple 2 : un moteur tourne au régime de 4 000 tr.min⁻¹ ; exprimons cette vitesse en radians par seconde :

$$\omega = 4\,000 \times 0,105 = 420 \text{ rad.s}^{-1}$$

Contactez l'auteur : adilca@free.fr

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *