

L'ÉNERGIE CINÉTIQUE

Tous les spécialistes s'accordent pour dire que l'une des plus grandes difficultés de la conduite automobile est de pouvoir apprécier correctement la vitesse, mais aussi et surtout d'évaluer les différences de vitesse.

D'où provient cette difficulté ? Les capteurs sensoriels que sont les yeux et la peau ne sont pas des instruments de mesure, ils ne peuvent nous renseigner que d'une manière assez subjective sur le mouvement et la vitesse. C'est pourquoi toutes les voitures sont équipées d'un tachymètre afin que le conducteur puisse à tout moment disposer d'une donnée objective essentielle pour la conduite.

Cependant, être informé de la *vitesse* exacte est une chose, savoir appréhender les *différences de vitesse* en est une autre. En effet, les phénomènes automobiles tels que la consommation de carburant, les distances de freinage ou les conséquences des éventuelles collisions sont toujours liées à des *variations d'énergie cinétique* et non à de simples différences de vitesse.

Autrement dit, seul le calcul permet une évaluation correcte et précise de ces différences, le tachymètre n'étant alors d'aucune utilité. Voici les détails de ce raisonnement aux conséquences surprenantes.

Définir l'énergie cinétique

L'énergie désigne toute manifestation de mouvement, de chaleur ou de rayonnement. L'énergie qui apparaît sous forme de mouvement est appelée *énergie cinétique*.

Il existe trois définitions plus précises de l'énergie cinétique, toutes trois parfaitement équivalentes en vertu de la loi générale de la conservation de l'énergie découverte et formulée par le physicien anglais James Joule^(*).

Première définition : l'énergie cinétique désigne la quantité d'énergie nécessaire pour "fabriquer" du mouvement. En effet, en l'absence d'énergie, une masse reste immobile ou conserve une vitesse constante. L'énergie cinétique est donc une indication précise de l'énergie consommée pour accélérer une masse, déduction faite de toutes les pertes dues à la chaleur, aux frottements et aux résistances diverses.

Deuxième définition : l'énergie cinétique désigne la quantité d'énergie qui doit être intégralement dissipée pour obtenir l'immobilisation complète d'une masse en mouvement. L'énergie cinétique est donc une indication précise de la difficulté à freiner une masse.

Troisième définition : l'énergie cinétique désigne la quantité d'énergie dissipée dans une collision. L'énergie cinétique est donc une indication précise de la violence d'un choc.

Exprimer l'énergie cinétique

L'énergie cinétique s'exprime grâce à la relation :

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

Selon le Système International d'unités dont l'usage est, rappelons-le, obligatoire partout dans le monde quels que soient les domaines concernés (industrie, commerce, enseignement), la masse s'exprime en *kilogramme* (symbole **kg**), la vitesse en *mètre par seconde* (symbole **m.s⁻¹**) et l'énergie cinétique en *joule* (symbole **J**) en hommage aux travaux de James Joule.

La vérification de la cohérence des unités s'écrit ainsi :

$$\text{énergie cinétique} = \text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = \text{joule}.$$

Exemple : calculons l'énergie cinétique d'une voiture de masse 1500 kilogrammes circulant à la vitesse de 30 mètres par seconde :

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

$$E = \frac{1}{2} \times 1500 \times 30^2$$

$$E = 750 \times 900 = 675\,000 \text{ J}$$

Créer ou supprimer de l'énergie

Rien de miraculeux en matière d'énergie : créer de l'énergie cinétique, la réduire ou la supprimer impose de solliciter des forces physiques.

Dans le cas de la voiture et en situations normales, ces forces s'exercent sur les pneumatiques au contact du sol. En cas de collision, cette force provient de l'obstacle et s'exerce sur la carrosserie.

Le travail (au sens physique du terme) qu'effectuent ces forces correspond très exactement à la variation d'énergie cinétique constatée.

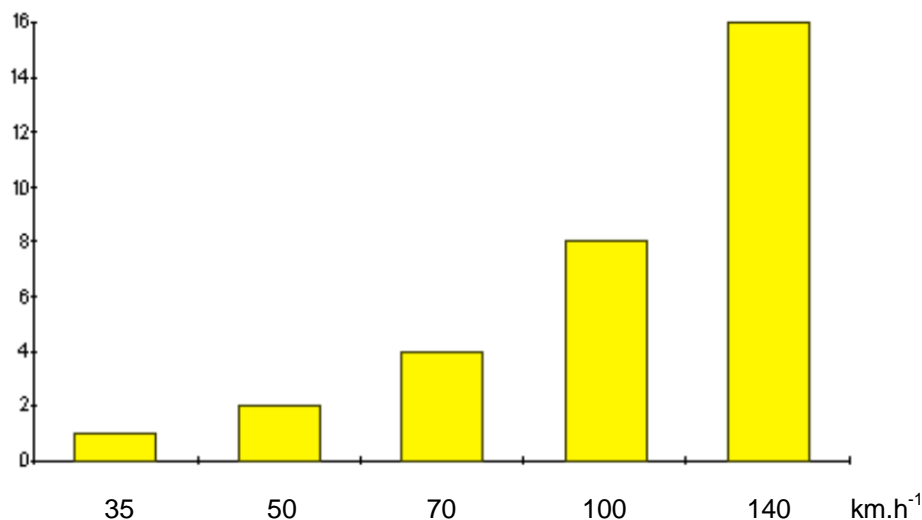
Les relations entre grandeurs

Intéressons-nous aux relations entre grandeurs. Que nous indique la formule qui exprime l'énergie cinétique ? La *masse* est évidemment une constante, tandis que la variable est la *vitesse élevée au carré*.

Concrètement, cela signifie que l'énergie cinétique n'est pas proportionnelle à la vitesse mais au *carré de la vitesse*.

Autrement dit, si la vitesse est multipliée par deux, l'énergie cinétique est multipliée par quatre ; si la vitesse est multipliée par trois, l'énergie cinétique est multipliée par neuf ; si la vitesse est multipliée par quatre, l'énergie cinétique est multipliée par seize, etc.

On peut également en déduire que l'énergie cinétique est multipliée par deux quand la vitesse est seulement multipliée par 1,414 puisque $2^{1/2} = 1,414$.



© association adilca reproduction interdite

Représentation schématique de l'énergie cinétique en fonction de la vitesse.

Le rôle de la vitesse

La relation entre l'énergie et la vitesse nous montre que :

- pour doubler la vitesse d'une voiture, il faut consommer quatre fois plus de carburant^(**) ; la distance de freinage est alors quatre fois plus longue et, en cas de collision, le choc est quatre fois plus violent !

- pour tripler la vitesse d'une voiture, il faut consommer neuf fois plus de carburant^(**) ; la distance de freinage est alors neuf fois plus longue et, en cas de collision, le choc est neuf fois plus violent !

- pour quadrupler la vitesse d'une voiture, il faut consommer seize fois plus de carburant^(**) ; la distance de freinage est alors seize fois plus longue et, en cas de collision, le choc est seize fois plus violent ! etc.

Dès lors, on perçoit mieux l'intérêt de calculer très précisément ce que représentent réellement ces différences de vitesse, d'autant plus que, en apparence, elles semblent insignifiantes à nos yeux. Mais comment faire ?

Une formule simplifiée...

La masse étant une constante, la variation d'énergie cinétique est fonction du seul carré de la vitesse. On peut le vérifier en simplifiant la relation, ce qui est le cas si la masse en question est exactement égale à deux kilogrammes.

Et comme il ne s'agit pas ici de calculer une quantité, mais uniquement d'apprécier une différence affectant la variable vitesse, il est alors possible de calculer cette différence en conservant l'expression de la vitesse en *kilomètre par heure* (symbole **km.h⁻¹**).

Autrement dit, le simple calcul de la *racine carrée de la différence des carrés* de la vitesse exprimée en *kilomètre par heure* nous renseigne de manière correcte et précise sur la variation d'énergie cinétique, et donc sur la différence de vitesse correspondante !

La relation simplifiée s'écrit alors :

$$V = (V_b^2 - V_a^2)^{1/2}$$

Dans cette relation, V est la variation d'énergie cinétique entre la vitesse V_b et la vitesse V_a, grandeurs toutes trois exprimées en *kilomètre par heure*. La puissance ½ correspond à la *racine carrée* de cette différence.

La relation satisfait à l'exigence de cohésion des unités, ce qui se vérifie ainsi :

$$\text{variation d'énergie cinétique} = [(km.h^{-1})^2]^{1/2} = km.h^{-1}$$

Non seulement le calcul gagne en rapidité, mais en plus, le résultat est particulièrement significatif, comme on va le voir dans les quelques exemples qui suivent.

Quelques exemples concrets...

Les lecteurs familiarisés avec les séries de calculs pourront, en utilisant la formule complète exprimant l'énergie cinétique, calculer celle-ci pour chacun des exemples proposés et vérifier ainsi la validité des résultats indiqués.

Premier exemple : à quoi correspond la différence d'énergie cinétique entre 50 km.h⁻¹ et 60 km.h⁻¹ ?

$$V = (60^2 - 50^2)^{1/2} = (3600 - 2500)^{1/2} = (1100)^{1/2} = 33 \text{ km.h}^{-1}$$

On peut en déduire ceci : pour accélérer de 50 à 60 km.h⁻¹, il faut consommer la même quantité de carburant^(**) que pour accélérer de 0 à 33 km.h⁻¹ ; pour freiner de 60 à 50 km.h⁻¹, il faut dissiper la même énergie que pour freiner de 33 à 0 km.h⁻¹. Du point de vue de l'énergie, circuler à 60 km.h⁻¹ revient donc à circuler avec 33 km.h⁻¹ de plus qu'à 50 km.h⁻¹ !

Deuxième exemple : à quoi correspond la différence d'énergie cinétique entre 80 km.h⁻¹ et 90 km.h⁻¹ ?

$$V = (90^2 - 80^2)^{1/2} = (8100 - 6400)^{1/2} = (1700)^{1/2} = 41 \text{ km.h}^{-1}$$

On peut en déduire ceci : pour accélérer de 80 à 90 km.h⁻¹, il faut consommer la même quantité de carburant^(**) que pour accélérer de 0 à 41 km.h⁻¹ ; pour freiner de 90 à 80 km.h⁻¹, il faut dissiper la même énergie que pour freiner de 41 à 0 km.h⁻¹. Du point de vue de l'énergie, circuler à 90 km.h⁻¹ revient donc à circuler avec 41 km.h⁻¹ de plus qu'à 80 km.h⁻¹ !

Troisième exemple : à quoi correspond la différence d'énergie cinétique entre 110 km.h⁻¹ et 130 km.h⁻¹ ?

$$V = (130^2 - 110^2)^{1/2} = (16\ 900 - 12\ 100)^{1/2} = (4800)^{1/2} = 69 \text{ km.h}^{-1}$$

On peut en déduire ceci : pour accélérer de 110 à 130 km.h⁻¹, il faut consommer la même quantité de carburant^(**) que pour accélérer de 0 à 69 km.h⁻¹ ; pour freiner de 130 à 110 km.h⁻¹, il faut dissiper la même énergie que pour freiner de 69 à 0 km.h⁻¹. Du point de vue de l'énergie, circuler à 130 km.h⁻¹ revient donc à circuler avec 69 km.h⁻¹ de plus qu'à 110 km.h⁻¹ !

Un tableau pour résumer...

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des valeurs calculées à partir de 30 km.h⁻¹ pour les vitesses habituellement pratiquées en France.

130	126,5	124	120	115	110	102,5	94	83	69	50	0
110	106	102,5	98	92	85	75,5	63	46	0	48	69
90	85	81	75	67	57	41	0	44	63	79	94
70	63	57	49	36	0	39	57	71	85	97,5	110
50	40	30	0	33	49	62	75	87	98	109	120
30	0	26	40	52	63	74	85	95	106	116	126,5
km.h ⁻¹	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130

© association adilca reproduction interdite

Comment lire ce tableau ? Il suffit de mettre en correspondance les vitesses apparaissant en caractères gras sur la colonne de gauche et la ligne du bas. La valeur indiquée est la différence d'énergie cinétique exprimée en *kilomètre par heure*.

Exemple 1 : entre **50** et **70** km.h⁻¹, la différence est de 49 km.h⁻¹. Cela signifie que pour accélérer une voiture de 50 jusqu'à 70 km.h⁻¹, il faut lui donner une énergie équivalente à celle qui l'a propulsée de 0 jusqu'à 49 km.h⁻¹, cette différence se retrouvant naturellement au freinage ou en cas de collision.

Exemple 2 : entre **70** et **100** km.h⁻¹, la différence est de 71 km.h⁻¹. Cela signifie que pour accélérer une voiture de 70 jusqu'à 100 km.h⁻¹, il faut lui donner une énergie équivalente à celle qui l'a propulsée de 0 jusqu'à 71 km.h⁻¹, cette différence se retrouvant naturellement au freinage ou en cas de collision.

De telles différences sont bien évidemment impossibles à estimer à partir des seules données affichées au compteur de vitesse, et encore moins à partir des seules perceptions ou sensations du conducteur...

Une loi aux conséquences surprenantes...

Une autre conséquence de cette loi est que, plus la vitesse est élevée, plus les différences sont importantes !

Ainsi, à 30 km.h⁻¹, augmenter la vitesse de 20 km.h⁻¹ représente une différence de 40 km.h⁻¹ ; à 50 km.h⁻¹, cette même augmentation représente une différence de 49 km.h⁻¹ ; à 70 km.h⁻¹, elle en vaut 57 ; à 90 km.h⁻¹, elle en vaut 63, et à 110 km.h⁻¹, 69 !

Traduite en langage arithmétique courant, cette loi pourrait s'écrire de la manière suivante :

$$50 \text{ km.h}^{-1} = 30 \text{ km.h}^{-1} + 40 \text{ km.h}^{-1}$$

$$70 \text{ km.h}^{-1} = 50 \text{ km.h}^{-1} + 49 \text{ km.h}^{-1}$$

$$90 \text{ km.h}^{-1} = 70 \text{ km.h}^{-1} + 57 \text{ km.h}^{-1}$$

$$110 \text{ km.h}^{-1} = 90 \text{ km.h}^{-1} + 63 \text{ km.h}^{-1}$$

$$130 \text{ km.h}^{-1} = 110 \text{ km.h}^{-1} + 69 \text{ km.h}^{-1}$$

Ou encore :

$$130 \text{ km.h}^{-1} = 30 \text{ km.h}^{-1} + 40 \text{ km.h}^{-1} + 49 \text{ km.h}^{-1} + 57 \text{ km.h}^{-1} + 63 \text{ km.h}^{-1} + 69 \text{ km.h}^{-1} !$$

Farfelue en apparence, cette équivalence peut se vérifier ainsi :

$$130^2 = 30^2 + 40^2 + 49^2 + 57^2 + 63^2 + 69^2 = 16\,900^{(****)} !$$

Concrètement, cela signifie qu'une seule voiture circulant à 130 km.h⁻¹ possède autant d'énergie cinétique que six voitures identiques circulant respectivement à 30, 40, 49, 57, 63 et 69 km.h⁻¹ !

Dès lors, on comprend mieux la nécessité, pour la sécurité comme pour les économies d'énergie et la protection de l'environnement, de limiter la vitesse à des niveaux raisonnables.

(*) *James Prescott Joule, physicien anglais (1818-1889). La loi de la conservation de l'énergie énonce que le travail, la chaleur et l'énergie sont des grandeurs équivalentes qui changent de forme mais se conservent toujours intégralement.*

(**) *Ce calcul, purement théorique, ne tient compte que de la seule énergie nécessaire pour accélérer une masse. En réalité, cette quantité est supérieure si on prend en considération l'action des forces résistantes (résistance au roulement, résistance de l'air) durant le laps de temps que dure cette accélération.*

(***) *Le résultat exact donne 16 880 pour 16 900, la différence étant due aux approximations sur la valeur des racines carrées.*

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *