

LA VITESSE

I. VITESSE : LES DÉFINITIONS

II. TACHYMÈTRES ET CINÉMOMÈTRES

III. RELATIONS ENTRE GRANDEURS

IV. BIBLIOGRAPHIE

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *

I. VITESSE : LES DÉFINITIONS

Tout conducteur sait ou croit savoir ce qu'est la vitesse. Mais attention ! De quelle vitesse parle-t-on ? Car il en existe plusieurs définitions !...

La vitesse moyenne...

Elle ne se mesure pas mais se calcule, et uniquement après être arrivé à destination ! Le calcul en question nécessite de connaître la distance réellement parcourue et la durée totale du trajet, mesurée "de porte à porte".

La vitesse instantanée...

C'est la vitesse d'un mobile à un instant donné. Mais comment mesurer cette vitesse ? Le cinémomètre le plus précis à ce jour utilise l'effet Doppler-Fizeau : l'appareil mesure le décalage de fréquence d'un signal selon la vitesse à laquelle la voiture se rapproche ou s'éloigne de sa source (principe du "radar").

La vitesse "compteur"...

C'est la vitesse indiquée au tachymètre, appareil obligatoire pour tous les véhicules à moteur. Cette valeur inclue une incertitude généralement comprise entre 0 et 3 % pour les voitures de tourisme. L'incertitude augmente avec l'usure des pneumatiques, le déficit de pression ou la charge supportée par les roues.

La vitesse réelle, dite vitesse "chrono"...

C'est la vitesse que pourrait mesurer un cinémomètre pareil à ceux qui prolifèrent au bord des routes... C'est aussi la vitesse indiquée au compteur diminuée de l'incertitude, lorsque celle-ci est connue.

Comment calculer cette incertitude ? Un simple chronomètre suffit ! En mesurant le temps nécessaire pour parcourir la distance d'un kilomètre à vitesse stabilisée (vitesse maintenue "*au régulateur*"), on calcule d'abord la vitesse réelle, pour cette raison appelée également vitesse "chrono", puis on en déduit l'incertitude du compteur.

Exemple : la vitesse réelle d'une voiture ayant parcouru la distance d'un kilomètre en 36 secondes est de $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Si le compteur indiquait $103 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, l'incertitude est de + 3 %.

À noter qu'une incertitude identique affecte à la fois les indications de l'odomètre et celles de l'ordinateur de bord.

La vitesse “maxi”...

C'est la vitesse que la voiture peut théoriquement atteindre lorsque le moteur délivre sa puissance maximale, à condition que le conducteur ait engagé le dernier rapport de transmission et gardé le pied à fond sur l'accélérateur.

Si le constructeur est honnête, la valeur indiquée sur les catalogues est une vitesse “chrono”. Sinon, c'est une vitesse compteur ou une valeur théorique que la voiture n'atteindra jamais...

En fait, le seul véritable intérêt de la vitesse maximale est de permettre le calcul rapide et facile de ce qu'on appelle la vitesse de croisière...

La vitesse de croisière...

Bien que peu valorisante, c'est la donnée technique la plus intéressante pour qui veut ménager sa monture, abaisser le prix de revient des kilomètres et leur impact sur l'environnement.

En effet, la vitesse de croisière se définit comme la vitesse que le moteur pourrait maintenir presque indéfiniment, tout en optimisant la sollicitation des organes mécaniques, la consommation de carburant et les émissions polluantes.

Cette vitesse est atteinte au régime de couple maximum sur une plage de régime d'environ 500 tr.min^{-1} , ce qui autorise une fourchette d'environ 20 km.h^{-1} . Au-dessus ou en dessous, le rendement du moteur diminue de manière significative.

Bien que jamais indiquée par les constructeurs, cette plage de vitesse est facile à situer : dans la plupart des cas, elle débute approximativement à la moitié de la vitesse maximale (moteur diesel) ou aux deux-tiers de la vitesse maximale (moteur à essence).

Exemples :

- la vitesse de croisière d'une voiture diesel capable d'atteindre 180 km.h^{-1} en pointe se situe entre 90 et 110 km.h^{-1} . En respectant cette plage de vitesse sur les longs trajets autoroutiers, l'usure mécanique, la consommation de carburant et les émissions polluantes sont réduites au minimum.

- la vitesse de croisière d'une voiture à essence capable d'atteindre 180 km.h^{-1} en pointe se situe autour de 120 km.h^{-1} . En respectant cette vitesse sur les longs trajets autoroutiers, l'usure mécanique, la consommation de carburant et les émissions polluantes sont réduites au minimum.

II. TACHYMÈTRES ET CINÉMOMÈTRES

Les tachymètres (du grec *takhus*, rapide et *metron*, mesure), autrement dit les compteurs de vitesse font partie des équipements obligatoires à bord des véhicules terrestres à moteur.

Des compteurs gradués en km/h

Les compteurs des véhicules à moteur sont gradués en kilomètres par heure⁽¹⁾, une tradition qui remonte aux débuts de l'automobile, à une époque où les appareils installés à bord des voitures fonctionnaient de manière très rudimentaire, tandis que les vitesses pratiquées étaient basses et régulières.

Il fut alors jugé plus commode de renseigner le conducteur sur la vitesse moyenne plutôt que la vitesse instantanée, et donc de l'exprimer en kilomètres par heure. La tradition perdure depuis.

La précision des compteurs

Les compteurs installés à bord des voitures sont suffisamment précis pour l'usage auquel ils sont destinés, mais ce ne sont pas des instruments de mesure, au sens métrologique du terme, ce sont seulement des indicateurs (de vitesse !).

L'incertitude des compteurs des voitures modernes est comprise entre 0 et + 3 % (compteurs numériques utilisant les données des capteurs ABS), elle peut atteindre + 5 % pour les voitures plus anciennes dont le compteur est entraîné par un câble en rotation.

Exemple : une incertitude de + 2 % signifie que, lorsque le compteur indique 102 km/h, la vitesse réelle est 100 km/h.

Logiquement, cette incertitude va dans le sens de la sécurité, ce qui signifie que la vitesse indiquée au compteur est toujours, soit égale, soit légèrement supérieure à la vitesse réelle, jamais l'inverse.

Calcul de l'incertitude

Pour calculer l'incertitude d'un compteur, il suffit de mesurer le temps nécessaire pour parcourir la distance d'un kilomètre à vitesse stabilisée⁽²⁾. La vitesse réelle (dite aussi "vitesse chrono") se calcule ensuite facilement, d'où on déduit l'incertitude.

Exemple : si une voiture parcourt la distance d'un kilomètre en 37,5 secondes avec le compteur calé sur 100 km/h, sa vitesse réelle est 96 km/h ; l'incertitude du compteur est alors de + 4,17 %.

Variation de l'incertitude

Cette incertitude peut évoluer, étant donné que l'appareil calcule la vitesse de la voiture à partir de la vitesse de rotation des roues, donc de la valeur maximale de circonférence des pneumatiques.

Or des pneus usés, en déficit de pression ou supportant une forte charge développent une circonférence plus réduite ; dans ce cas l'incertitude du compteur est légèrement accrue.

L'approximation de l'affichage

On distingue l'incertitude de la mesure et l'approximation de l'affichage car les deux phénomènes n'ont aucun rapport. L'approximation de l'affichage ne concerne que les compteurs numériques.

Les capteurs ABS, désormais incorporés aux roulements de roues, transmettent leurs informations par dixièmes de km/h mais, pour simplifier la lecture, ces dixièmes ne sont pas pris en compte par le logiciel d'affichage.

Exemple : le compteur affiche 100 km/h quand la valeur transmise par le capteur est comprise entre 99,5 et 100,4 inclus. Si la valeur transmise passe à 100,5 le compteur affiche alors 101 km/h. Si elle tombe à 99,4 il affiche 99 km/h, etc.

La vitesse GPS

La fonction d'un GPS ("*Global Positioning System*", en français : système de localisation par satellites) n'est pas d'indiquer la vitesse mais la position géographique, à 10 mètres près et c'est déjà pas mal (le système européen GALILÉE promet d'être 10 fois plus précis).

Problèmes :

- cette localisation n'est pas instantanée car l'appareil doit calculer la position géographique à partir de signaux fournis par les trois ou quatre satellites les plus proches ;
- la vitesse indiquée est une vitesse moyenne calculée à partir des deux dernières positions géographiques mémorisées dans l'appareil, d'où un léger décalage entre la progression de la voiture et l'affichage de sa vitesse à l'écran ; ce décalage est sensible en cas d'accélération ou décélération ;
- l'appareil procède comme si la distance entre deux positions géographiques était parcourue à vol d'oiseau, il ne tient pas compte du tracé de la route, ni de la trajectoire réelle de la voiture.

La précision des cinémomètres

Les cinémomètres utilisent l'effet Doppler-Fizeau⁽³⁾ qui consiste à émettre une onde électromagnétique pour mesurer la variation de fréquence selon la vitesse à laquelle le véhicule se rapproche ou s'éloigne de la source.

Grâce aux très hautes fréquences utilisées (jusqu'à 36 GHz, soit 36 milliards de périodes par seconde⁽⁴⁾), ces appareils offrent une très grande précision, à condition d'être correctement orientés par rapport à l'axe de circulation des véhicules. La vitesse est alors mesurée à 0,1 km/h près mais, pour éviter les erreurs de lecture, les décimales ne sont pas affichées. De plus, les valeurs ne sont pas arrondies afin de ne pas pénaliser les conducteurs.

Exemple : le radar affiche 100 km/h quand la vitesse mesurée est comprise entre 100,0 et 100,9 km/h inclus. Si la vitesse mesurée est 101,0 km/h, le radar affiche 101 km/h. Si la vitesse mesurée est 99,9 km/h, le radar affiche 99 km/h, etc.

L'orientation des radars

Les cinémomètres électromagnétiques émettent un signal directionnel de faible puissance (moins de trente mètres de portée) et sont programmés pour fonctionner avec une orientation précise de 25° ($\pm 0,5$) par rapport à l'axe de circulation des véhicules. En dessous de cette valeur, la vitesse enregistrée est supérieure à la vitesse réelle, au-dessus elle est inférieure.

Exemple : avec un angle nul (hypothèse extrême, car cela supposerait que l'appareil soit posé sur le bitume en plein milieu de la voie de circulation), le radar afficherait 55 km/h pour une vitesse réelle de 50 km/h, 110 km/h pour une vitesse réelle de 100 km/h et 143 km/h pour une vitesse réelle de 130 km/h.

Avec un angle de 20° par rapport à l'axe de circulation, le radar afficherait 51 km/h pour une vitesse réelle de 50 km/h, 103 km/h pour une vitesse réelle de 100 km/h et 134 km/h pour une vitesse réelle de 130 km/h.

Mais avec un angle de 30° , il afficherait alors 47 km/h pour une vitesse réelle de 50 km/h, 95 km/h pour une vitesse réelle de 100 km/h et 124 km/h pour une vitesse réelle de 130 km/h.

Attention ! Les cinémomètres à rayon laser ("jumelles") ne sont pas concernés : conçus pour mesurer la vitesse à hauteur d'homme, dans l'axe de circulation des véhicules et à distance (jusqu'à 400 mètres), l'incertitude liée au déport est négligeable.

Exemple : pour une visée effectuée à 400 mètres, un déport (horizontal ou vertical) de 6 mètres n'affecte la précision de la mesure que d'environ 0,11 % au bénéfice du conducteur, autant dire : rien.

Le même déport pour une visée à 100 mètres minore la vitesse réelle d'environ 0,18 % : l'appareil enregistre alors 49,9 km/h pour une vitesse réelle de 50 km/h (dans ce cas, l'écran de lecture n'affiche que 49 km/h puisqu'il supprime la décimale sans arrondir la valeur), 89,8 km/h pour une vitesse réelle de 90 km/h (89 km/h affichés sur l'écran), 129,8 km/h pour une vitesse réelle de 130 km/h (129 km/h affichés sur l'écran).

Changer l'unité de vitesse

Les compteurs sont traditionnellement gradués en kilomètres par heure bien que, depuis 1954, l'unité internationale de vitesse soit le mètre par seconde⁽⁵⁾. L'usage des unités du Système International⁽⁶⁾ est certes obligatoire partout dans le monde, et notamment en France depuis 1961, mais ce n'est pas là l'argument principal.

Notre relation à l'espace et au temps a considérablement évolué en quelques années. Cela a des répercussions sur la conduite automobile, car il est difficile de se représenter des grandeurs exprimées en kilomètres ou en heures, a fortiori lorsqu'il s'agit de faire le rapport entre les deux.

Le changement d'unité n'aurait probablement que des avantages :

- les tachymètres actuels entretiennent la confusion entre vitesse moyenne et vitesse instantanée ; si la vitesse moyenne peut s'exprimer en kilomètres par heure, ce n'est évidemment pas le cas de la vitesse instantanée ;
- pour le conducteur, la notion de vitesse n'a d'intérêt que par rapport à l'environnement immédiat dans lequel il évolue : les deux échelles les mieux adaptées à cet environnement sont le mètre et la seconde ;
- l'esprit de sécurité pourrait être encouragé, par exemple en incorporant aux tachymètres un témoin sonore ou lumineux scandant la seconde, le conducteur disposant ainsi d'un repère d'espace-temps fiable.
- par un effet purement mécanique, la lisibilité des compteurs serait améliorée.

Modifier les compteurs

S'agissant des compteurs à aiguille, il suffirait simplement de changer le fond du cadran. Pour les compteurs numériques, il suffirait d'une petite modification du logiciel d'affichage n'entraînant aucun surcoût.

En effet, de telles modifications existent déjà pour les véhicules exportés vers les pays qui utilisent d'autres unités. Comme par exemple la Grande-Bretagne et les États-Unis, pays où la vitesse s'exprime en *miles per hour*⁽⁷⁾.

Des évolutions possibles

Les évolutions concerneraient plutôt les ordinateurs de bord qui se contentent pour l'instant d'indiquer la consommation instantanée, la vitesse moyenne et... la température extérieure !

Leur fonctionnalité pourrait être considérablement enrichie par des informations telles que la distance de sécurité, la distance parcourue pendant le temps de réaction (mouvement accélérateur-frein), la distance de freinage, les décélérations, les accélérations transversales...

En effet, les voitures modernes sont toutes équipées des capteurs nécessaires au fonctionnement des différentes aides électroniques à la conduite (voir dossier ADILCA "électronique") :

- capteur de distance de sécurité (régulateur de vitesse adaptatif ACC),
- capteurs de vitesse des roues (système antiblocage de frein ABS),
- capteur de décélération (répartition électronique du freinage EBV),
- capteurs d'action sur les commandes d'accélérateur et de frein (aide au freinage d'urgence BAS),
- capteur d'action sur la commande de direction et gyromètre (contrôle électronique de trajectoire ESP).

Leur affichage en clair est d'ores et déjà possible sans modification majeure. Reliées à un tachymètre gradué en mètres par seconde, ces informations seraient autant d'éléments concrets permettant au conducteur d'évaluer la qualité de ses réactions.

La conversion des unités

L'équivalence entre les unités de vitesse est la suivante :

- 1 kilomètre = 1 000 mètres ;
- 1 heure = 3 600 secondes ;
- 1 kilomètre par heure = 0,277 mètre par seconde ;
- 1 mètre par seconde = 3,6 kilomètres par heure.

Relation 1 pour transformer des kilomètres par heure en mètres par seconde :

$$v = V / 3,6$$

v : vitesse exprimée en mètres par seconde,

V : vitesse exprimée en kilomètres par heure,

Exemple :

si $V = 90$ km/h, $v = 90 / 3,6 = 25$ mètres par seconde.

Relation 2 pour transformer des mètres par seconde en kilomètres par heure :

$$V = v \times 3,6$$

V : vitesse exprimée en kilomètres par heure,

v : vitesse exprimée en mètres par seconde,

Exemple :

si $v = 25$ m/s, $V = 25 \times 3,6 = 90$ kilomètres par heure.

Le tableau suivant donne l'équivalence entre km/h et m/s :

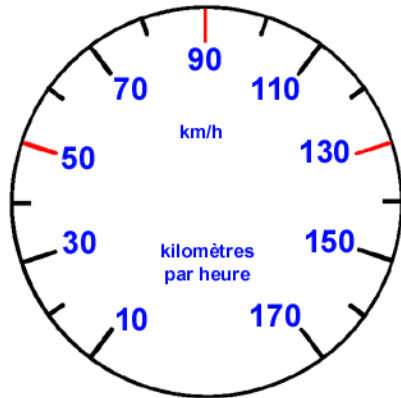
km/h	30	50	70	90	110	130
m/s	8,3	13,9	19,4	25	30,6	36,1

Et inversement :

m/s	10	15	20	25	30	35
km/h	36	54	72	90	108	126

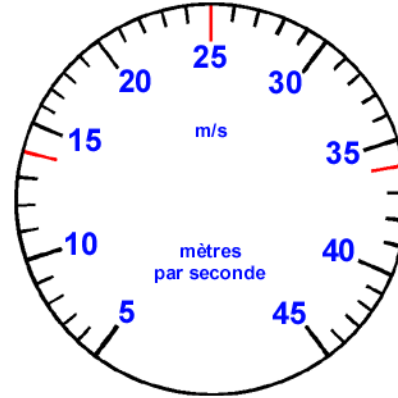
Les compteurs du futur

Voici à quoi ils pourraient ressembler :



© association adilca reproduction interdite

compteur classique.



compteur moderne.

(1) Le kilomètre par heure (symbole **km/h** ou **km.h⁻¹**), unité de vitesse d'usage courant dans les pays familiarisés avec le système métrique, est la vitesse d'un mobile qui parcourt 1 kilomètre en 1 heure.

(2) Quelques conditions sont nécessaires pour garantir la fiabilité des résultats : voiture sans bagages ni chargement, équipée de pneus neufs gonflés à la pression adéquate, un seul passager à bord installé à l'avant en plus du conducteur. Le chronométrage doit s'effectuer sur une portion de route ou d'autoroute parfaitement rectiligne afin de supprimer l'imprécision de distance liée à la sinuosité du tracé. De plus, afin de garantir une vitesse sensiblement constante, il est préférable de s'aider du régulateur de vitesse. Enfin, dans le cas d'un chronométrage manuel, une incertitude subsiste, liée à l'avance ou retard dans le déclenchement de l'appareil, mais il est possible de pallier cet inconvénient en utilisant un chronomètre électronique commandé par une cellule photoélectrique.

(3) Des noms de Christian DOPPLER, physicien autrichien (1803-1859), connu pour ses travaux d'optique, et Hippolyte FIZEAU, physicien français (1819-1896), le premier à mesurer la vitesse de la lumière, grâce à un montage particulièrement astucieux (1849).

(4) La fréquence s'exprime en hertz (symbole **Hz**), du nom de Heinrich HERTZ, physicien allemand (1857-1894), inventeur de l'émetteur d'ondes électromagnétiques. Un hertz est la fréquence d'un phénomène qui se produit une fois par seconde.

(5) Le mètre par seconde (symbole **m/s** ou **m.s⁻¹**), unité de vitesse du Système International, est la vitesse d'un mobile qui parcourt 1 mètre en 1 seconde.

(6) Système International d'unités (symbole **SI**), système d'unités cohérentes créé en 1954 sur les bases du système métrique, adopté par la France en 1961 et utilisé dans le monde entier. Ces unités sont dites cohérentes parce qu'elles peuvent se combiner entre elles. Leur usage est désormais obligatoire notamment dans l'industrie, la recherche et l'enseignement.

(7) Le mile per hour (symbole **mph**), unité de vitesse d'usage courant dans les pays anglo-saxons, est la vitesse d'un mobile qui parcourt 1 mile en 1 heure (1 mile = 1 609,34 mètres).

III. RELATIONS ENTRE GRANDEURS

Vitesse moyenne :

$$V = D / T$$

V : vitesse moyenne, exprimée en **km.h⁻¹**

D : distance parcourue, exprimée en **km**

T : temps, exprimé en **h**

cohérence des unités : **V = km . h⁻¹ = km.h⁻¹**

Exemple : calculons la vitesse moyenne d'une voiture ayant parcouru une distance de 300 km en 5 heures :

$$V = 300 / 5 = 60 \text{ km.h}^{-1}$$

Vitesse "compteur" :

$$v = d . n$$

v : vitesse "compteur", exprimée en **m.s⁻¹**

d : circonférence des roues, exprimée en **m**

n : nombre de tours de roues effectués en une seconde, exprimé en **s⁻¹**

cohérence des unités : **v = m . s⁻¹ = m.s⁻¹**

Exemple 1 : calculons la vitesse "compteur" d'une voiture quand les roues de circonférence 2 mètres effectuent 15 tours par seconde :

$$v = 2 \times 15 = 30 \text{ m.s}^{-1} = 108 \text{ km.h}^{-1}$$

Vitesse "chrono" :

$$v = d . 3\,600 / t$$

v : vitesse "chrono", exprimée en **km.h⁻¹**

d : distance parcourue à vitesse stabilisée, exprimée en **km**

3 600 : nombre de secondes écoulées en une heure, exprimé en **s.h⁻¹**

t : temps nécessaire pour parcourir cette distance, exprimé en **s**

cohérence des unités : **v = km . s.h⁻¹ . s⁻¹ = km.h⁻¹**

Exemple 1 : calculons la vitesse "chrono" d'une voiture ayant parcouru la distance d'un kilomètre à vitesse stabilisée en 36 secondes :

$$v = 1 \times 3\,600 / 36 = 100 \text{ km.h}^{-1}$$

Vitesse “radar” :

$$v = \Delta f \cdot c / (2 f_0 \cdot \cosinus \alpha)$$

v : vitesse “radar”, exprimée en **m.s⁻¹**

Δf : variation de fréquence, exprimée en **Hz**

c : vitesse de propagation des ondes électromagnétiques (3 x 10⁸ **m.s⁻¹**)

f₀ : fréquence initiale, exprimée en **Hz**

α : angle d’émission du signal par rapport à l’axe de circulation, grandeur sans dimension ;
cohérence des unités : **v = m.s⁻¹ . s⁻¹ / s⁻¹ = m.s⁻¹**

Exemple : un cinémomètre à effet Doppler-Fizeau installé sur l’accotement avec un angle de 25° par rapport à l’axe de circulation des véhicules (cosinus 25° = 0,9) émet une onde électromagnétique de fréquence 36 GHz (36 x 10⁹ Hz) au passage d’une voiture. La comparaison entre la fréquence émise et celle de l’écho montre une différence de 8 640 Hz. Calculons la vitesse de la voiture :

$$v = 8\,640 \times 3 \times 10^8 / (2 \times 36 \times 10^9 \times 0,9)$$

$$v = 864 \times 3 \times 10^9 / (2 \times 36 \times 10^9 \times 0,9)$$

$$v = 864 \times 3 / (2 \times 36 \times 0,9)$$

$$v = 2\,592 / 64,8 = 40 \text{ m.s}^{-1} = 144 \text{ km.h}^{-1}$$

Incertitude du compteur :

$$I = (Vc - Vr) / Vr$$

I : incertitude, grandeur sans dimension ;

Vc : vitesse compteur, exprimée en **km.h⁻¹**

Vr : vitesse réelle (“chrono” ou “radar”), exprimée en **km.h⁻¹**

cohérence des unités : **I = km.h⁻¹ / km.h⁻¹ = grandeur sans dimension.**

Exemple : calculons l’incertitude d’un tachymètre qui indique 130 km.h⁻¹ quand la vitesse réelle est 125 km.h⁻¹ :

$$I = (130 - 125) / 125 = 5 / 125 = 0,04 = 4/100 = + 4 \%$$

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *

IV. BIBLIOGRAPHIE

- ASSOCIATION ADILCA (ouvrage collectif édité à compte d'auteurs) : *Guide des Lois Physiques de l'Automobile*, Paris 2010.

- KITTEL (Charles), KNIGHT (Walter D.), RUDERMAN (Malvin A.) : *Cours de Physique de Berkeley, Tome 1*, Éditions DUNOD, Paris 2001.

- LE TONNELIER DE BRETEUIL, marquise du Chastellet (Gabrielle Émilie) : *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* (traduction intégrale en français de l'œuvre d'Isaac Newton), Paris 1759.

- NEWTON (Isaac) : *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, Londres 1687.

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *