DÉFINITIONS ET UNITÉS

LES UNITÉS DU SYSTÈME INTERNATIONAL

Définitions, unités, Système international, écriture scientifique, multiples et sous-multiples

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *

DÉFINITIONS ET UNITÉS

Pas de science donc pas de physique sans définitions précises !

Les seules unités légales en Europe et partout dans le monde sont celles du Système International (symbole **SI**), adopté en France par décret en date du 3 mai 1961.

Les unités n'appartenant pas au **SI** sont strictement interdites d'usage, que ce soit dans l'industrie, la recherche ou l'enseignement. En France, toute infraction est punie d'une amende de 3e classe (article R. 643-2 du code pénal).

Quelles sont les unités les plus courantes en automobile ?

- L'unité de longueur et de distance est le *mètre* (symbole **m**) : par définition, 1 mètre est la dix-millionième partie du quart de méridien terrestre [(*)].

- L'unité de surface est le *mètre carré* (symbole **m^2**), l'unité de volume est le *mètre cube* (symbole **m^3**), le *décimètre-cube* (symbole **dm^3**) ou le *centimètre-cube* (symbole **cm^3**). Le *litre* (symbole **l**) est l'appellation courante du décimètre-cube.

- La masse désigne la quantité de matière ; l'unité de masse est le *kilogramme* (symbole **kg**) : par définition, 1 kilogramme est la masse d'1 décimètre-cube d'eau.

- Le poids désigne la force de gravitation ; une force désigne toute cause capable de modifier la vitesse ou la trajectoire d'une masse ; poids et force ont la même unité, le *newton* (symbole **N**) : par définition, 1 N est la force capable de communiquer une accélération de 1 m.s^{-2} à une masse de 1 kilogramme.

- Le couple désigne le produit d'une force par un bras de levier ; l'unité de couple est le *newton-mètre* (symbole **Nm**) : par définition, 1 Nm est le couple produit par une force de 1 N qui s'exerce sur un bras de levier de longueur 1 mètre.

- La pression désigne le rapport entre une force et une surface ; l'unité de pression est le *pascal* (symbole **Pa**) ou le *bar* (1 bar = 100 000 Pa) : par définition, 1 Pa est la pression qu'exerce un poids de 1 N sur une surface de 1 m^2.

- L'unité de température est le *kelvin* (symbole **K**) : par définition, 0 K = – 273 degrés Celsius ; 273 K = 0 degré Celsius ; 373 k = 100 degrés Celsius.

- L'unité de temps est la *seconde* (symbole **s**) : par définition, 1 seconde est la 31 556 940ème partie du temps que met la Terre pour effectuer un tour complet autour du Soleil.

- L'unité de fréquence est le *hertz* (symbole **Hz**) : par définition, 1 Hz est la fréquence d'un phénomène qui se répète à chaque seconde.

- L'énergie désigne toute manifestation de mouvement (énergie dite *cinétique*) ou de chaleur (énergie dite *thermique*). Ces deux formes d'énergie sont équivalentes et ont la même unité, le *joule* (symbole **J**) : par définition, 1 J est l'énergie cinétique d'une masse de 2 kg se déplaçant à la vitesse de 1 $m.s^{-1}$, 1 J est l'énergie thermique capable d'élever de 1 K la température de 0,239 gramme d'eau.

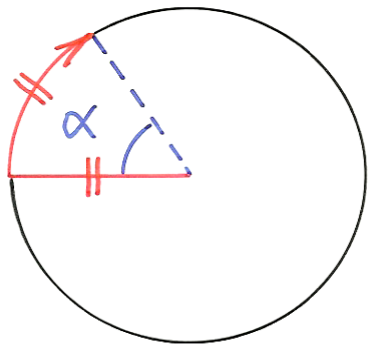
- Le travail désigne l'énergie nécessaire au déplacement d'une force ; travail et énergie ont la même unité, le *joule* (symbole **J**) : par définition, 1 J est l'énergie nécessaire pour déplacer une force de 1 N sur une distance d'1 mètre, c'est le travail de cette force.

Attention ! Ne pas confondre masse, poids, force, travail et énergie !

- La puissance désigne le rapport entre l'énergie et le temps ; l'unité de puissance est le *watt* (symbole **W**) : par définition, 1 W est la puissance nécessaire pour produite un travail de 1 J en 1 seconde. Dans l'industrie automobile, l'unité de puissance est le *cheval-vapeur* (symbole **ch** ; 1 **ch** = 735,5 **W**).

- La vitesse désigne le rapport entre la distance et le temps ; l'unité de vitesse est le *mètre par seconde* (symbole $\mathbf{m.s^{-1}}$) : par définition, 1 $m.s^{-1}$ est la vitesse qui permet de parcourir la distance d'1 mètre en 1 seconde.

- La vitesse de rotation s'exprime en *tour par minute* (symbole $\mathbf{tr.min^{-1}}$), en *tour par seconde* (symbole $\mathbf{tr.s^{-1}}$), ou en *radian par seconde* (symbole $\mathbf{rad.s^{-1}}$) : par définition, 1 radian est l'angle au centre qui intercepte un arc de cercle d'une longueur égale à son rayon ; 1 tour = 360 degrés = 2 π radians = 6,28 radians, d'où 1 radian = 57,3 degrés.



© association adilca reproduction interdite

Le radian est l'angle au centre interceptant un arc d'une longueur égale au rayon.
1 radian = 360 degrés / 2 π = 360 / 6,28 = 57,3 degrés.

- L'accélération (ou décélération) désigne le rapport entre la variation de vitesse et le temps ; l'unité d'accélération (ou décélération) est le *mètre par seconde carrée* (symbole $\mathbf{m.s^{-2}}$) : par définition, 1 $m.s^{-2}$ est une accélération (ou décélération) qui se traduit par une variation de vitesse de 1 $m.s^{-1}$ par seconde.

- Le coefficient d'adhérence désigne le rapport entre une décélération et l'accélération verticale due à la pesanteur terrestre (symbole "**g**" = **9,8** $\mathbf{m.s^{-2}}$).

Attention ! Cela ne signifie pas que le coefficient d'adhérence est toujours inférieur à 1 !

- Le coefficient de glissement désigne l'écart entre la vitesse circonférentielle des roues et la vitesse de translation de la voiture lors d'un freinage : il est égal à 0 si la roue tourne librement, égal à 1 si la roue est totalement bloquée.

Attention ! Ne pas confondre adhérence et glissement !

- Un référentiel désigne un ensemble de repères à partir desquels se mesurent les caractéristiques du mouvement d'une masse (distance parcourue, vitesse, trajectoire).

Attention ! Un référentiel peut être absolu ou relatif, selon l'objet de l'étude.

- La dynamique est la description d'un mouvement réel.

- La statique est une description imaginaire dans laquelle le mouvement réel est ignoré.

Attention ! Ne pas mélanger statique et dynamique !

- Un vecteur est une représentation graphique d'une grandeur quelconque.

Attention ! Ne jamais additionner deux vecteurs représentant des grandeurs différentes !

- En chimie, une *mole* (symbole **mol**) désigne une quantité de 6×10^{23} atomes ou molécules identiques. La masse d'une mole quelconque s'exprime en *gramme par mole* (symbole $\mathbf{g.mol^{-1}}$) ou en *kilogramme par kilomole* (symbole $\mathbf{kg.kmol^{-1}}$).

(*) *Cette définition a servi de base à l'élaboration du système métrique, adopté en France en 1795, ancêtre du Système International. Au fil des avancées technologiques, certaines définitions ont été modifiées dans le but d'en améliorer la précision. Ainsi, en 1967, la seconde est devenue la base du Système International (SI) avec cette définition : une seconde est la durée de 9 200 000 000 oscillations (92×10^8 Hz) d'un atome de césium 133 (symbole ^{133}Cs). Par suite, la définition du mètre a été rattachée à celle de la seconde : un mètre est la distance parcourue par la lumière en 1/300 000 000ème de seconde (3×10^{-8} s).*

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

* * *

ÉCRITURE SCIENTIFIQUE

Il s'agit d'une convention d'écriture qui vient s'ajouter à la norme concernant les unités. Elle est obligatoire dans l'enseignement, l'industrie, la recherche et l'édition à vocation scientifique. Elle n'est pas obligatoire pour le grand public.

Elle consiste, d'une part à remplacer les grands nombres par des puissances de 10, d'autre part à remplacer les divisions et les quotients traditionnellement matérialisés par une barre de fraction ou un signe ("*slash*" : /) par des exposants négatifs.

Exemples : 1 000 s'écrit 10^3 ; 2 000 s'écrit 2×10^3 ; 2 345 s'écrit $2{,}345 \times 10^3$; 0,001 ou 1/1 000 ou $1/10^3$ s'écrit 10^{-3} ; 0,002 ou 2/1 000 ou $2/10^3$ s'écrit 2×10^{-3} etc.

Elle consiste également à combiner les grandeurs sous forme de produits, chaque point matérialisant une multiplication.

Exemple : $kg \times m/s^2$ s'écrit $kg.m.s^{-2}$

Avantages : rapidité d'écriture et de lecture, pas de confusion possible avec le "x" de l'inconnue, rapidité et facilité de réduction de l'expression.

Certains constructeurs automobiles l'ont adoptée pour leurs tableaux de bord (tachymètre, compte-tours…), mais il est toujours possible de revenir à l'ancienne écriture.

Exemples :

- "kilomètres par heure" peut s'écrire km/h ou $km.h^{-1}$;

- "tours par minute" peut s'écrire tr/min ou $tr.min^{-1}$.

Pour d'autres grandeurs, l'écriture et les calculs sont plus homogènes.

Exemple :

La constante de gravitation (appelée aussi "constante de Newton") est une grandeur qui s'exprime en *mètres cube par kilogramme et par seconde carrée* (cette grandeur équilibre l'équation et garantit la cohérence des unités).

Son symbole peut s'écrire de 2 manières différentes :

$$m^3/kg/s^2 \quad \text{ou} \quad m^3.kg^{-1}.s^{-2}$$

La seconde possibilité clarifie les combinaisons de grandeurs.

Exemple :

L'accélération gravitationnelle à la surface de la Terre s'exprime par la relation

$$\boldsymbol{\gamma = G.M.D^{-2}}$$

Dans cette relation :

- G est la constante de gravitation ;
- M est la masse de la Terre, exprimée en kilogramme (symbole kg) ;
- D est le rayon de la Terre, exprimé en mètre (symbole m).

Combinaison des symboles :

$$\gamma = G.M.D^{-2} = m^3.kg^{-1}.s^{-2}.kg.m^{-2}$$

La réduction s'effectue ensuite par simple addition ou soustraction des exposants :

$$m^3.kg^{-1}.s^{-2}.kg.m^{-2} = m^{+3}.m^{-2}.kg^{-1}.kg^{+1}.s^{-2} = m^{+3-2}.kg^{+1-1}.s^{-2} = m^{+1}.kg^{0}.s^{-2} = m.s^{-2}$$

(*La combinaison puis la réduction des symboles garantit la cohérence des unités et permet de vérifier que la dimension obtenue, ici une accélération, correspond bien à la dimension recherchée*).

Attention !

- l'absence de signe à l'exposant équivaut à un signe $^{+}$;
- l'absence d'exposant équivaut à l'exposant $^{+1}$;
- n'importe quelle grandeur affectée de l'exposant ^{0} est égale à 1 ;

Ancienne écriture :

$$\gamma = G.M/D^2 = m^3/kg/s^2 \times kg/m^2$$

$$m^3/kg/s^2 \times kg/m^2 = m^3/m^2 \times kg^1/kg^1/s^2 = m^{3-2} \times kg^{1-1}/s^2 = m^1 \times kg^0/s^2 = m^1 \times 1/s^2 = m/s^2$$

Cette convention d'écriture vaut aussi pour les applications numériques. Cependant, il est alors conseillé de revenir aux signes traditionnels x et **/** afin d'éviter tout risque d'erreur.

Exemple :

Calculons l'intensité de l'accélération gravitationnelle à la surface de la Terre à l'aide de la relation

$$\boldsymbol{\gamma = G.M.D^{-2}}$$

Les valeurs numériques sont les suivantes :

G (constante de gravitation) = $6{,}66 \times 10^{-11}\ m^3.kg^{-1}.s^{-2}$

M (masse de la Terre) = 6×10^{24} kg

D (rayon de la Terre) = $6{,}38 \times 10^{6}$ m

Application numérique :

$$\gamma = 6{,}66^{+1} \times 10^{-11} \times 6^{+1} \times 10^{+24} \times (6{,}38^{+1} \times 10^{+6})^{-2}$$

$$\gamma = 6{,}66^{+1} \times 6^{+1} \times 10^{(+24-11)} \times 6{,}38^{(+1 \times -2)} \times 10^{(+6 \times -2)}$$

$$\gamma = 6{,}66^{+1} \times 6^{+1} \times 10^{+13} \times 6{,}38^{-2} \times 10^{-12}$$

$$\gamma = 6{,}66^{+1} \times 6^{+1} \times 6{,}38^{-2} \times 10^{(+13-12)}$$

$$\gamma = 6{,}66^{+1} \times 6^{+1} \times 6{,}38^{-2} \times 10^{+1}$$

$$\gamma = 399{,}6^{+1} \times 6{,}38^{-2}$$

$$\gamma = 399{,}6^{+1} \times 40{,}7^{-1}$$

$$\gamma = 399{,}6 / 40{,}7 = \mathbf{9{,}8\ m.s^{-2}}$$

MULTIPLES ET SOUS-MULTIPLES

- *yotta* (symbole **Y**) signifie 10^{24} unités (à ne pas confondre avec *iota*),
- *zetta* (symbole **Z**) signifie 10^{21} unités,
- *exa* (symbole **E**) signifie 10^{18} unités,
- *peta* (symbole **P**) signifie 10^{15} unités,
- *téra* (symbole **T**) signifie 10^{12} unités,
- *giga* (symbole **G**) signifie 10^{9} unités,
- *méga* (symbole **M**) signifie 10^{6} unités,
- *kilo* (symbole **k**) signifie 10^{3} unités,
- *hecto* (symbole **h**) signifie 10^{2} unités,
- *déca* (symbole **da**) signifie 10^{1} unités,

- *déci* (symbole **d**) signifie 10^{-1} unités,
- *centi* (symbole **c**) signifie 10^{-2} unités,
- *milli* (symbole **m**) signifie 10^{-3} unités,
- *micro* (symbole **µ**) signifie 10^{-6} unités,
- *nano* (symbole **n**) signifie 10^{-9} unités,
- *pico* (symbole **p**) signifie 10^{-12} unités,
- *femto* (symbole **f**) signifie 10^{-15} unités,
- *atto* (symbole **a**) signifie 10^{-18} unités,
- *zepto* (symbole **z**) signifie 10^{-21} unités,
- *yocto* (symbole **y**) signifie 10^{-24} unités.

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *

RELATIONS ENTRE GRANDEURS

Poids :

$$P = M . g$$

P : poids, exprimé en **N**
M : masse, exprimée en **kg**
g : accélération gravitationnelle, exprimée en **$m.s^{-2}$**
(accélération gravitationnelle terrestre : g = 9,8 $m.s^{-2}$)
cohérence des unités : **P** = kg . $m.s^{-2}$ = **N**

Exemple : calculons le poids d'une voiture de 1 000 kg :

P = 1 000 x 9,8 = 9 800 **N**

Force :

$$F = M . \gamma$$

F : force, exprimée en **N**
M : masse, exprimée en **kg**
γ : accélération ou décélération, exprimée en **$m.s^{-2}$**
cohérence des unités : **F** = kg . $m.s^{-2}$ = **N**

Exemple : calculons la force de traction capable de communiquer une accélération de 4 $m.s^{-2}$ à une voiture de masse 1 000 kg :

F = 1 000 x 4 = 4 000 **N**

Couple :

$$C = F . D$$

C : couple, exprimé en **Nm**
F : force, exprimée en **N**
D : bras de levier, exprimée en **m**
cohérence des unités : **C** = N . m = **Nm**

Exemple : calculons le couple créé par une force de 20 N s'appliquant sur un bras de levier de 0,5 mètre :

C = 20 x 0,5 = 10 **Nm**

Pression :

$$Pr = F / S$$

Pr : pression, exprimée en **Pa**
F : force, exprimée en **N**
S : surface, exprimée en m^2
cohérence des unités : **Pr** = $kg.m^{+1}.s^{-2} . m^{-2} = kg.m^{-1}.s^{-2}$ = **Pa**

Exemple : calculons la pression qu'une voiture de masse de 1 000 kg exerce sur le sol, la surface de contact des quatre pneumatiques étant de 500 centimètres-carrés (0,05 m^2) :

Pr = 10 000 / 0,05 = 200 000 **Pa** = 2 bars

Travail d'une force :

$$E = F . D$$

E : travail, exprimé en **J**
F : force, exprimée en **N**
D : déplacement, exprimé en **m**
cohérence des unités : **E** = $kg.m^{+1}.s^{-2} . m^{+1} = kg.m^2.s^{-2}$ = **J**

Exemple : calculons le travail d'une force de 4 000 N qui s'est déplacée d'un kilomètre :

E = 4 000 x 1 000 = 4 000 000 **J**

Énergie cinétique :

$$E = ½ M . V^2$$

E : énergie cinétique, exprimée en **J**
M : masse, exprimée en **kg**
V : vitesse, exprimée en $m.s^{-1}$
cohérence des unités : **E** = $kg . (m.s^{-1})^2 = kg . m^2.s^{-2}$ = **J**

Exemple : calculons l'énergie cinétique d'une voiture de masse 1 000 kg circulant à 25 $m.s^{-1}$ (90 $km.h^{-1}$) :

E = ½ x 1 000 x 25^2 = 500 x 625 = 312 500 **J**

Puissance :

$$B = E / T$$

B : puissance, exprimée en **W**
E : énergie, exprimée en **J**
T : temps, exprimé en **s**
cohérence des unités : **B** = $kg.m^2.s^{-2} . s^{-1} = kg.m^2.s^{-3}$ = **W**

Exemple : calculons la puissance nécessaire pour produire une énergie cinétique de 300 000 J en 10 secondes :

B = 300 000 / 10 = 30 000 **W**

Accélération :

$$Y = V / T$$

Y : accélération, exprimée en $m.s^{-2}$
V : vitesse, exprimée en $m.s^{-1}$
T : temps, exprimé en **s**
cohérence des unités : **Y** = $m.s^{-1} . s^{-1}$ = $\mathbf{m.s^{-2}}$

Exemple : calculons l'accélération d'une voiture dont la vitesse varie de 0 à 25 $m.s^{-1}$ (90 $km.h^{-1}$) en 10 secondes :

Y = 25 / 10 = 2,5 $\mathbf{m.s^{-2}}$

Accélération transversale :

$$Y = V^2 / R$$

Y : accélération transversale, exprimée en $m.s^{-2}$
V : vitesse, exprimée en $m.s^{-1}$
R : rayon de trajectoire, exprimé en **m**
cohérence des unités : **Y** = $(m.s^{-1})^2 . m^{-1} = m^{+2}.s^{-2} . m^{-1}$ = $\mathbf{m.s^{-2}}$

Exemple : calculons l'accélération transversale d'une voiture qui décrit une trajectoire circulaire de 100 m de rayon à la vitesse de 20 $m.s^{-1}$ (72 $km.h^{-1}$) :

Y = 20^2 / 100 = 400 / 100 = 4 $\mathbf{m.s^{-2}}$

Décélération :

$$Y = V / T$$

Y : décélération, exprimée en **$m.s^{-2}$**
V : vitesse, exprimée en **$m.s^{-1}$**
T : temps, exprimé en **s**
cohérence des unités : **Y** = $m.s^{-1} . s^{-1}$ = **$m.s^{-2}$**

Exemple : calculons la décélération d'une voiture dont la vitesse varie de 20 $m.s^{-1}$ (72 $km.h^{-1}$) à 0 en 2,5 secondes :

Y = 20 / 2,5 = 8 **$m.s^{-2}$**

Coefficient d'adhérence :

$$\mu = Y / g$$

μ : coefficient d'adhérence, grandeur sans dimension ;
Y : décélération ou accélération transversale, exprimée en **$m.s^{-2}$**
g : accélération de référence, exprimée en **$m.s^{-2}$**
(accélération gravitationnelle terrestre : **g** = 9,8 $m.s^{-2}$)
cohérence des unités : **μ** = ($m^{+1}.s^{-2}$) . ($m^{-1}.s^{+2}$) = grandeur sans dimension.

Exemple : calculons le coefficient d'adhérence permettant une décélération de 8 $m.s^{-2}$:

μ = 8 / 9,8 = 0,8

Coefficient de glissement

$$a = (V - v) / V$$

a : coefficient de glissement, grandeur sans dimension
V : vitesse de translation de la voiture, exprimée en **$m.s^{-1}$**
v : vitesse circonférentielle des roues, exprimée en **$m.s^{-1}$**
cohérence des unités : ($m^{+1}.s^{-1}$) . ($m^{-1}.s^{+1}$) = grandeur sans dimension

Exemple : calculons le coefficient de glissement d'une roue qui tourne avec une vitesse circonférentielle de 90 $km.h^{-1}$ au moment où la vitesse de translation de la voiture est de 100 $km.h^{-1}$:

a = (100 - 90) / 100 = 10 / 100 = 0,1 = 10 %

ASSOCIATION ADILCA www.adilca.com * * *